

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第16巻 第2号(通巻第27号)

昭和56年1月(1981)

目 次

1. Areas of Difficulty for Japanese Learners of English in Articulating English Consonants	石 井 淳 二	1
2. B-Spline を用いた補間における節点決定の一手法	今 井 勲 富 田 豊	23
3. 円弧インボリュート接合カムの研究(第2報)―揺動従動節―	糸 島 寛 典	29
4. 円弧楕円接合カムの研究(第2報)―揺動従動節―	糸 島 寛 典	39
5. 直接グレアによる目の疲労の研究	原 田 一 彦	55
6. リヒテンベルグ図の基礎的特性(II) (SF ₆ ガス中での沿面放電)	若 宮 正 明	59
7. 電子エネルギー分布関数(計算2)	山 崎 勉	67
8. 単純支持梁の曲げ応力波に関する数値解析法について	久 良 喜代彦	77
9. 模擬地震波による建物の弾塑性応答特性	門 前 勝 彦 春 藤 久 直 松 本 裕 二	89
10. 中国古代の親族名称について	栴 本 紘 二	101
11. 春秋正義訳註(二)	栴 本 紘 二	120

Areas of Difficulty
for Japanese Learners of English
in Articulating English Consonants

(Phonetics) Junji ISHII

Experience tells the present writer that most Japanese learners of English will have great difficulty in producing the English consonants, especially at their initial stage.

Here the present writer tries to compare the sound systems of both Japanese and English. Hopefully, it can help to know which phonemic oppositions of English are difficult to hear and articulate. It can also offer implications and suggestions as to teaching materials, teaching methods, tests, and so forth.

CONTENTS

- I. Introduction
- II. English Consonantal Phonemes
- III. Comparison of English and Japanese Consonantal Phonemes
- IV. Contrastive Analysis of English and Japanese Consonantal Phonemes
- V. Plosives: / p, b, t, d, k, g /
 - (1) Bilabial Plosives / p, b /
 - (2) Alveolar Plosives / t, d /
 - (3) Velar Plosives / k, g /
- VI. Affricates: / tʃ, dʒ, *tr, *dr /
 - (1) Palato-Alveolar Affricates / tʃ, dʒ /
 - (2) Post-Alveolar Affricates / tr, dr /
- VII. Fricatives: / f, v, θ, ð, s, z, ʃ, ʒ, h /
 - (1) Labio-Dental Fricatives / f, v /
 - (2) Dental Fricatives / θ, ð /
 - (3) Alveolar Fricatives / s, z /
 - (4) Palato-Alveolar Fricatives / ʃ, ʒ /
 - (5) Glottal Fricative / h /
- VIII. Nasals: / m, n, ŋ /
 - (1) Bilabial Nasal / m /
 - (2) Alveolar Nasal / n /
 - (3) Velar Nasal / ŋ /
- IX. Lateral: / l /
 - Alveolar Lateral / l /
- X. Frictionless Continuant: / r /
 - Post-Alveolar Frictionless Continuant / r /
- XI. Semi-Vowels: / w, j /
 - (1) Bilabial Semi-Vowel / w /
 - (2) Unrounded Palatal Semi-Vowel / j /
- XII. Conclusion

I. Introduction

The Japanese sound system is the starting point with regard to the process in which Japanese learners of English may acquire the English sound system. The final point is a stage where the English sound system coexists with that of Japanese and code switching can take place whenever it is necessary.

On the way from the first point to the final, however, are stages where the learner cannot completely separate one from the other and mixes them up, that is, the English phonemes may be diaphones of the Japanese phonemes.

In the actual teaching of English pronunciation, there must arise various kinds of external problems such as the influence of spelling, that of the Japanized pronunciations of borrowed words from abroad, that of the individual teacher's models of pronunciation on his students, and so on.

The greatest difficulty, however, may be due to the following main differences between the two languages:

- (1) English has a stress-timed rhythm, while Japanese has a syllable-timed rhythm. This difference may be one of the main reasons why Japanese learners find it difficult to hear and understand English correctly. It is particularly difficult to identify the sounds in weak syllables.
- (2) A syllable in Japanese can be defined as "a unit with the same length of time". So the Japanese /n/ and /ŋ/ are uttered with the same length of time as the other normal syllables which have the structure of 'CV'.
- (3) Japanese has a pitch accent, either high or low. The change of pitch takes place between syllables. It never happens within the same syllable. The difference of meaning arises according to the difference of accent grouping.

Difficulties in aural perception do not necessarily coincide with those in oral production. As far as the syllabic structure is concerned, Japanese has only three types. Those are expressed as 'V', 'CV', and 'CjV', except /n/ and /ŋ/. In English, on the other hand, the potential structure of the monosyllable may be expressed as 'CCCVS (/j, r, w/) CCCC'. The most typical type is expressed as 'CVC'.

Every Japanese syllable except /n, ŋ/ is an open one, that is, 'CV', while the English syllable is a closed one, that is, 'CVC'. For this reason, Japanese learners find it difficult to articulate a final consonant correctly. They tend to pronounce it with an intrusive vowel. It is also difficult to identify a final consonant whenever it is one of the allophonic variants of a close sound with no explosion. When the syllabic structures of the two languages are compared, it is obvious that Japanese learners have great difficulty in producing English consonant clusters, in other words, they tend to put an intervening vowel after each consonant. For the Japanese learner of English, it can be a help to compare the sound systems of the two languages.

Here the present writer has dealt with problems associated exclusively with the English consonants.

II. English Consonantal Phonemes

There are twenty-four distinctive phonemes in the RP consonant system. These may be classified as follows:

IV. Contrastive Analysis of English and Japanese Consonantal Phonemes

In Japanese there are eighteen consonantal phonemes, whereas English has twenty-four. There is no exact one-to-one equivalence in the phonemic area of the two languages. Many of the English phonemes may be regarded as allophones of each of the Japanese phonemes by the native speakers of Japanese.

The following is a diagram that shows which of the English consonantal phonemes are regarded as allophones of the Japanese phonemes.

Phonemes	Japanese	English
Consonants	/b/	/b/ /v/
	/g/	/g/ /ŋ/
	/dʒ/	/dʒ/ /ʒ/
	/h/	/h/ /f/
	/s/	/s/ /θ/
	/z/	/z/ /ð/ /ʒ/
	/r/	/r/ /l/

V. Plosives: / p, b, t, d, k, g /

(1) Bilabial Plosives / p, b /

A. Difficulty

Generally speaking, the Japanese learner of English does not find it very difficult to articulate the English plosives because he has as many corresponding phonemes. The Japanese plosives, however, are usually produced with much less or no aspiration at all. This difference brings about two kinds of difficulty.

One is in the articulation of /p/ in accented initial positions.

e.g. pig [p^hɪg] → [pɪg]/[pɪ^ʔgɯ]

Therefore there is a danger that the native listener may mistake 'pig' for 'big'.

The other lies in the recognition of final plosives because they often have no audible explosion.

e.g. 'rope' vs. 'robe'

B. Advice

1. In accented initial positions, the main feature distinguishing /p/ from /b/ is the aspiration associated with the former.

2. Final plosives often have no audible explosion.

3. When a plosive is followed by another plosive or an affricate within a word or at word boundaries, there is no intervening sound (either aspiration [^h] or a vowel).

4. When /p, b/ are followed by /m/, the plosive is released through the nose without an intervening sound.

5. Long vowels and diphthongs are shorter before /p/ than before /b/.

6. /l/ is shorter before /p/ than before /b/.

7. /m/ is shorter before /p/ than before /b/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/p/ — accented, aspirated:

appear, pain, pin, play, prey, etc.

— with no audible release:

captain, topcoat, wiped, ripe cheese, top boy, etc.

— followed by nasal consonant:

happen, topmost, cheap meat, etc.

— followed by lateral consonant:

apple, couple, please, etc.

/b/ — final, devoiced:

bulb, ebb, rib, sob, etc.

— with no audible release:

object, obtain, rubbed, etc.

— followed by nasal consonant:

ribbon, submerge, etc.

— followed by lateral consonant:

blow, bubble, etc.

2. Listen and identify /p/ or /b/.

cup - cub, peach - beach, pin - bin, post - boast, rope - robe, simple - symbol, etc.

(2) Alveolar Plosives /t, d/

A. Difficulty

The Japanese alveolar plosives are articulated in almost the same way as the English /t, d/. One difference is that for the Japanese /t, d/, the closure is made between the tip blade and rims of the tongue and the upper teeth and the alveolar ridge. Another difference is that they have less aspiration. This is why it is difficult for the Japanese learner of English to pronounce /t/ in accented initial positions.

e.g. ten [t^hen] → [ten] / [teŋ]

When /t, d/ come in final positions, it is also difficult to distinguish them.

e.g. 'eight' vs. 'aid'

In word initial positions, /d/ is sometimes replaced by /z/, and in word final positions, by /t/.

e.g. draw /drə/ → [zrə] / [zʊrə]

bed /bed/ → [bet]

/t/ is sometimes replaced by /tʃ/ or /ts/.

e.g. tip /tɪp/ → [tʃɪ²pʊ]

twin /twɪn/ → [tsʊɪŋ] / [tsʊɪn]

B. Advice

1. /t, d/ are generally made with the tongue contact just behind the teeth, not on the teeth.

2. Final plosives often have no audible explosion.

3. In accented initial positions, the main feature distinguishing /t/ from /d/ is the aspiration associated with the former.

4. Long vowels and diphthongs are shorter before /t/ than before /d/.

5. /l/ is shorter before /t/ than before /d/.

6. /n/ is shorter before /t/ than before /d/.

7. When a plosive is followed by another plosive or an affricate within a word or at word boundaries, there is no intervening sound.

8. When /t, d/ are followed by /n/, the plosive is released through the nose, without an intervening [h] or vowel.

9. When /t, d/ are followed by /l/, the plosive is released over the sides of the tongue, without an intervening sound.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/t/ — accented, aspirated:

attend, between, obtain, take, tall, etc.

— accented after /s/, unaspirated:

stall, steak, stone, etc.

— syllabic final:

beat, boat, late, past, sent, etc.

— with no audible release:

football, outpost, that dog, white chalk, white tie, etc.

— with homorganic lateral release:

atlas, cattle, little, at last, etc.

/d/ — initial, partially devoiced:

date, do, dog, dry, duck, etc.

— intervocalic, voiced:

elder, leader, London, order, under, etc.

— final, devoiced:

bid, bud, mad, old, road, etc.

— with no audible release:

bad pain, bed time, good dog, head boy, red car, etc.

— with homorganic lateral release:

badly, headless, middle, good luck, etc.

2. Listen and identify /t/ or /d/.

bent - bend, metal - medeal, sat - sad, train - drain, tune - dune, etc.

(3) Velar Plosives /k, g/

A. Difficulty

The Japanese velar plosives are articulated in a very similar way to the articulation of the English /k, g/, but with less aspiration. The Japanese /g/ in medial or final positions is often replaced by /ŋ/.

e.g. igi (meaning) /igi/ → [iŋi]

kagaku (science) /kagaku/ → [kaŋaku]

This linguistic behaviour may make it difficult to pronounce such words as 'cigar' and 'magnificent'. Japanese learners tend to say as follows:

cigar /sɪgɑ/ → [sɪŋɑ] / [ʃɪŋɑ]

magnificent /mæŋnɪfɪsnt/ → [mæŋnɪfɪsnt]

B. Advice

1. Final plosives often have no audible explosion.

2. In accented initial positions, the main feature distinguishing /k/ from /g/ is the aspiration associated with the former.

3. Long vowels and diphthongs are shorter before /k/ than before /g/.

4. /l/ is shorter before /k/ than before /g/.

5. When a plosive is followed by another plosive or an affricate within a word or at word boundaries, there is no intervening sound.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/k/ — accented, aspirated:

car, clean, come, cry, kin, etc.

— syllabic final:

bank, desk, duck, lack, rock, etc.

— with no audible release:

locked, blackboard, black cat, dark grey, etc.

— followed by lateral consonant:

buckle, clean, close, etc.

/g/ — initial, partially devoiced:

girl, glass, go, grass, guess, etc.

— intervocalic, voiced:

angry, argue, eager, figure, hunger, etc.

— final, devoiced:

dog, leg, vague, etc.

— with no audible release:

begged, rugby, big chin, big game, etc.

— followed by lateral consonant:

glow, struggle, dog lead, etc.

2. Listen and identify /k/ or /g/.

ankle - angle, cap - gap, coat - goat, duck - dug, pick - pig, etc.

VI. Affricates: /tʃ, dʒ, *tr, *dr /

(1) Palato-Alveolar Affricates /tʃ, dʒ/

The Japanese palato-alveolar affricates are articulated in almost the same way as the English /tʃ/ and /dʒ/ except that the obstacle is formed by a closure between the tip blade and rims of the tongue and upper alveolar ridge, hard palate and side teeth. There is less aspiration for the Japanese /tʃ/ and /dʒ/.

When the same two consonants occur in succession in word medial positions in Japanese, the first one is usually replaced by /ʔ/.

e.g. nippon (Japan) → [ni^ʔpoŋ]

kitto (certainly) → [ki^ʔto]

This makes it difficult for Japanese learners to pronounce correctly such a cluster as 'affricate + affricate'.

e.g. which cheese /wɪtʃ tʃɪz/ → [wi^ʔ tʃɪz]

In addition, Japanese learners have some difficulty in distinguishing /tʃ/ from /tj/ and also /d / from /dj/, especially when these are followed by /u/. It is because they have [tʃu] and [dʒu] but not [tju] or [dju] in Japanese. This is why they have a tendency to replace /tj/ by /tʃ/ and /dj/ by /dʒ/.

e.g. (1) /tj/ in word initial positions:

tube /tjub/ → [tʃub] / [tʃubʊ]

tulip /tjulɪp/ → [tʃulɪp] / [tʃurɪ^ʔpʊ]

Tuesday, tune, tutor, etc.

(2) /tj/ in word medial positions:

attitude /ætɪtjud/ → [ætɪtʃud] / [ætʃɪtʃud]

institute /ɪnstɪtjut/ → [ɪnstɪtʃut] / [ɪnstʃɪtʃut]

aptitude, constitute, latitude, longitude, magnitude, substitute, etc.

(3) /dj/ in word initial positions:

deuce /djus/ → [dʒus]

duet /djuet/ → [dʒuɛt]

dew, dual, due, duel, duke, dune, etc.

B. Advice

1. Plosives before an affricate have no audible release but affricates before affricates keep their full form.

2. /tʃ/ has the effect of shortening preceding sounds.

3. Distinguish /tʃ/ from /tj/ and /dʒ/ from /dj/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/tʃ/ – word initial:

charge, cheer, cheese, chin, choke, etc.

– word medial:

butcher, feature, nature, orchard, richer, etc.

– word final:
catch, coach, inch, much, porch, etc.

/dʒ/ – word initial:
gin, jar, jerk, Jew, joke, etc.

– word medial:
danger, fragile, major, margin, urgent, etc.

– word final:
age, edge, large, judge, ridge, etc.

2. Listen and repeat. (Comparison /tʃ/ - /dʒ/)

cheer - jeer, chest - jest, chin - gin, choke - joke, choose - Jews, etc.

3. Listen and repeat.

Dutch cheese, large jar, large trees, which chair, etc.

4. Listen and repeat. (Comparison /dʒ/ - /dj/)

Jew - due/dew, jewel - dual/duel, Jude - dude, juke - duke, June - dune, etc.

(2) Post-Alveolar Affricates / tr, dr /

A. Difficulty

These sequences are very difficult for the Japanese learner to articulate, as is the case with many other consonant clusters. He often tends to pronounce these clusters with an intervening vowel.

e.g. (1) /tr/ → [tsʊr], when /tr/ is followed by /u/ or /i/:

country → [kʌntsʊri]

tree → [tsʊri]

(2) /tr/ → [tor], when /tr/ is followed by /aɪ/, /eɪ/, /ɒ/, /ə/, /æ/, /e/ or /ɛ/.

try → [torai]

train → [toreɪn]

tradition → [torədɪʃn]/[torədɪʃən]

traffic → [toræfɪk]

(3) /dr/ → [dor], when /dr/ is followed by /aɪ/, /o/, /ɒ/, /i/, /ɪ/, /e/, /ɑ/, /æ/, or /ʌ/.

drop → [dorɒp]/[dorɔ²pʊ]

drum → [dorʌm]/[dorʌmʊ]

drink → [dorɪŋk]/[dorɪŋkʊ]

drive → [doraɪv]/[doraɪvʊ]

(4) /dz/ is also a difficult sequence for the Japanese learner of English to distinguish from /z/.

e.g. 'beads' vs. 'bees'

B. Advice

1. /tr, dr/ are articulated with no intervening vowel.

2. These sequences do not occur in syllabic final positions.

3. /r/ of /tr/ is devoiced.

4. The tongue contact is more retracted for /tr, dr/ than for /tʃ, dʒ/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/tr/ – word initial:

tree, trend, trick, truck, true, etc.

– word medial:

attract, country, mattress, petrol, poetry, etc.

/dr/ – word initial:

dream, drip, drop, drove, drum, etc.

– word medial:

address, Andrew, hindrance, sundry, etc.

2. Listen and repeat. (Comparison /tr/ - /dr/)

tram - dram, trench - drench, trip - drip, troop - droop, trunk - drunk, try - dry, etc.

3. Listen and repeat. (Comparison /dz/ - /z/)

adds - as, beads - bees, pleads - please, roads - rose, etc.

VII. Fricatives: / f, v, θ, ð, s, z, ʃ, ʒ, h /

(1) Labio-Dental Fricatives / f, v /

A. Difficulty

Labio-dental fricatives are nonexistent in Japanese. Therefore great difficulty lies not only in production but also in identification.

When /f/ is followed by /u/ or /ʊ/, the Japanese learner often replaces it by a bilabial fricative /ɸ/, an allophone of Japanese /h/.

e.g. food /fud/ – [ɸud]/[ɸudo]

foot /fʊt/ – [ɸʊt]/[ɸʊ²to]

/v/ is also replaced by /b/. Besides, it is extremely difficult to distinguish between them.

e.g. 'very' vs. 'bury'/'berry'

Another problem lies in the distinctive production of /f/ and /h/. The Japanese learner of English needs a lot of practice in identification as well as in production.

B. Advice

1. The place of articulation is labio-dental, not bilabial.

2. Distinguish between /v/ and /b/.

3. Distinguish between /f/ and /h/.

4. Long vowels and diphthongs are shorter before syllable-final /f/ than before /v/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/f/ – word initial:

fat, father, feet, fit, photo, etc.

– word medial:

affair, comfort, offer, selfish, suffer, etc.

– word final:

cough, laugh, leaf, loaf, roof, etc.

– in word initial clusters:

few, fly, fry, sphere, etc.

– in word final clusters:

coughs, fifth(s), soften(s, ed), triumph(s), twelfth(s), etc.

/v/ – word initial:

- vain, vast, very, vice, voice, etc.
- word medial:
 - cover, event, ever, over, silver, etc.
- word final:
 - dove, give, have, leave, move, etc.
- in word initial clusters:
 - view
- in word final clusters:
 - loaves, loved, oven(s), etc.
- 2. Listen and repeat. (Comparison /f/ - /v/)
 - fail-vail, fat-vat, few-view, fine-vine, leaf-leave, proof-prove, surface-service, etc..
- 3. Listen and identify /b/ or /v/.
 - B/bee - V, beer - veer, bowel - vowel, buy - vie, robe - robe - rove, etc.
- 4. Listen and repeat. (Comparison /f/ - /h/)
 - feet-heat, fence-hence, few-hew/hue, fight-height, find-hind, foam-home, etc.
- 5. Listen and repeat.
 - (She has got) fair hair., hi-fi, etc.

(2) Dental Fricatives /θ, ð/

A. Difficulty

Dental fricatives do not exist in Japanese. Therefore great difficulty lies in perception as well as in production. When Japanese learners of English pronounce /θ/ and /ð/, they tend to replace them by /s/ and /z/. For beginners it seems helpful to let them put out the tongue-tip through the teeth in the production of dental fricatives. It is more difficult to identify /θ/ or /s/ and /ð/ or /z/.

e.g. mouth /maʊθ/ → [maʊs] / [maʊz]

they /ðeɪ/ → [zeɪ]

B. Advice

1. The point of articulation is dental, not alveolar.
2. Long vowels and diphthongs are shorter before syllable-final /θ/ than before [ð].
3. Distinguish between /θ/ and /s/ and /ð/ and /z/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/θ/ – word initial:

thick, thief, think, thought, thumb, etc.

– word medial:

athletic, author, ethics, method, worthless, etc.

– word final:

breath, cloth, earth, fourth, path, etc.

– in word initial clusters:

three, throw, thwart, etc.

– in word final clusters:

depth(s), eighth(s), fifth(s), health('s), length(s), month(s), mouth's, sixth(s), twelfth(s), warmth, etc.

- /ð/ – word initial:
the, then, there, they, this, etc.
– word medial:
breathing, father, gather, leather, mother, etc.
– word final:
bathe, breathe, clothe, soothe, with, etc.
– in word final clusters:
clothes, rhythm(s), southern('s), etc.
2. Listen and repeat. (Comparison /θ/ - /ð/)
thigh - ghy, truth's - truths
3. Listen and identify /θ/ or /s/.
mouth - mouse, thick - sick, thought - sort, thumb - sum, worth - worse, etc.
4. Listen and identify /ð/ or /z/.
bathe - bays, breathe - breese, clothe - close (v.), seethe - seas/sees, etc.
5. Listen and repeat;
his thumb, pass the salt, soothes them, this thing, etc.

(3) Alveolar Fricatives /s, z/

A. Difficulty

The alveolar fricatives are generally easy for Japanese learners both in production and in perception. It is because the Japanese /s, z/ are very similar to those of English except that the lip position is more neutral.

However difficulty lies in the articulation of /sɪ/ and /si/. These are often replaced by /ʃɪ/ and /ʃi/. The latter is one of the Japanese syllabic sounds.

B. Advice

1. Be careful in producing /sɪ/ and /si/. They must not be replaced by /ʃɪ/ or /ʃi/.
2. Long vowels and diphthongs are shorter before syllable-final /s/ than before /z/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

- /s/ – word initial:
cease, sign, sit, soap, soon, etc.
– word medial:
concert, escape, essay, pencil, etc.
– word final:
famous, goose, ice, niece, pass, etc.
– in word initial clusters:
scream, sphere, spray, square, stew, etc.
– in word final clusters:
gasp(s, ed), licence, months, pencil(s), sixth(s), twelfths, etc.
- /z/ – word initial:
zeal, zero, zest, zone, zoo, etc.
– word medial:
bosom, easy, hesitate, husband, lazy, etc.
– word final:

does, noise, rose, says, was, etc.

– in word final clusters:

samples, symbols, uncles, thousands, visions, etc.

2. Listen and repeat. (Comparison /s/ - /z/)

loose - lose, peace/piece - peas, racer - razor, seal - zeal, etc.

3. Listen and identify /s/ or /ʃ/.

sea/see - she, seal-she'll, seas/sees/seize-she's, seat-sheet, seed-she'd, sin-shin, etc.

(4) Palato-Alveolar Fricatives /ʃ, ʒ/

A. Difficulty

The Japanese /ʃ/ is articulated in almost the same way as the English /ʃ/. What differs from each other is that the tongue should be slightly more towards the teeth for the Japanese /ʃ/.

In producing /ʒ/, Japanese learners of English often replace it with /dʒ/, because /ʒ/ is nonexistent in Japanese.

B. Advice

1. Be careful in producing /ʒ/. Do not replace it by /dʒ/.

2. Long vowels and diphthongs are shorter before syllable-final /ʃ/ than before /ʒ/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/ʃ/ – word initial:

shed, sheet, shop, shout, sugar, etc.

– word medial:

Asia, bushed, cushion, machine, mission, etc.

– word final:

cash, dish, finish, mash, push, etc.

– in word initial clusters:

shrink

– in word final clusters:

fashion(s, ed), marshal(s, led), mention(s, ed), patient(s), pushed, etc.

/ʒ/ – word initial:

(in French loan words) gigolo, gigue

– word medial:

confusion, decision, leisure, pleasure, usual, etc.

– word final:

(in French loan words) beige, prestige, rouge

– in word initial clusters:

(does not occur)

– in word final clusters:

vision(s)

2. Listen and identify /ʒ/ or /dʒ/.

leisure - ledger, vision - pigeon

3. Listen and repeat.

She sells seashells at the seashore.

(5) Glottal Fricative /h/

A. Difficulty

The Japanese /h/ is similar to the English /h/, but there is a slight difference that the air stream is forced out of the narrower passage between tongue and palate, producing a hissing sound. This phenomenon is especially clear when /h/ is followed by vowels such as /ɪ/ and /i/. Therefore Japanese learners of English tend to pronounce the sequence of /h/ + /ɪ/ or /h/ + /i/ as follows:

e.g. hit /hɪt/ → [çɪt] / [çɪ^htɔ]

he /hi/ → [çi]

In addition, when /h/ is followed by /u/ or /ʊ/, it is often replaced by /φ/.

e.g. who /hu/ → [φu]

hurray /hʊreɪ/ → [φʊreɪ] / [φʊree]

B. Advice

1. The point of articulation is glottal, not palatal.
2. Be very careful in articulating /hi/, /hɪ/, /hu/ and /hʊ/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/h/ – word initial:

hat, hate, hen, horse, how, etc.

– word medial:

abhore, ahead, behave, behind, perhaps, etc.

2. Listen and repeat.

/h + i/ – he, heal, heap, heat, heave, etc.

/h + ɪ/ – hear, here, hill, hiss, hit, etc.

/h + u/ – hoop, hoot, who, whom, whose, etc.

/h + ʊ/ – boyhood, hood, hook, manhood, etc.

VIII. Nasals: / m, n, ŋ /

(1) Bilabial Nasal / m /

A. Difficulty

The English /m/ offers no particular difficulty, because it is very similar to the Japanese /m/.

B. Advice

There seems to be no particular advice.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/m/ – word initial:

make, march, mat, meal, more, etc.

– following word initial /s/:

smack, smear, smite, smock, smoke, etc.

– word medial:

among, empty, lemon, salmon, summer, etc.

– word final:

game, harm, seem, tomb, warm, etc.

2. Listen and repeat. (Syllabic /m/)

lissome, prism, rhythm, etc.

(2) Alveolar Nasal /n/

A. Difficulty

The English /n/ is also similar to that of Japanese. The latter becomes syllabic in word medial and final positions. When /n/ occurs before /p, b, m/, it tends to change into /m/.

e.g. kinpatsu (fair hair) → [kimpatsu]

It becomes /ŋ/ before /k, g, ʃ/.

e.g. genki (healthy) → [geŋki]

Therefore, 'pin-point' /pɪn pɔɪnt/ will be pronounced like this: [pɪŋ pɔɪnt].

B. Advice

1. The lips do not form a closure for /n/.
2. /n/ is frequently syllabic.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/n/ – word initial:

name, neat, net, none, nurse, etc.

– following word initial /s/:

snake, snatch, sneeze, snore, snow, etc.

– word medial:

dinner, evening, hunter, many, wonder, etc.

– word final:

gone, learn, mean, pen, soon, etc.

2. Listen and repeat. (Syllabic /n/)

cotton, listen, often, sudden vision, etc.

(3) Velar Nasal /ŋ/

A. Difficulty

In Japanese, /ŋ/ is one of the allophones of /n/. Japanese learners of English tend to add an unnecessary /g/ or /gʊ/ to /ŋ/.

e.g. long /lɒŋ/ → [lɒŋgʊ]/[rɒŋgʊ]

singing /sɪŋɪŋ/ → [sɪŋgɪŋgʊ]/[ʃɪŋgɪŋgʊ]

Therefore the Japanese learner should avoid using /g/ in those cases where /ŋ/ occurs without a following plosive, especially in sequences where final /ŋ/ is followed by a vowel.

B. Advice

1. /ŋ/ must be distinguished from the sequences /ŋk/ and especially /ŋg/. The latter occurs only before a vowel or /l/.

2. /ŋ/ is rarely syllabic.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/ŋ/ – word medial:

anxiety, hanger, longing, singer, etc.

– word medial + /g/:

anger, angry, finger, hunger, strongest, etc.

– word medial + /k/:

anchor, ankle, anxious, donkey, monkey, uncle, etc.

- word final:
among, hang(s, ed), sing(s), tongue(s, ed), wrong(s, ed), etc.
 - word final + /k/:
chunk(s), distinct, monk(s), rank(s, ed), sink(s), etc.
 - word final syllabic (occasionally):
bacon, blacken, organ, taken, thicken, etc.
2. Listen and identify /ŋ/ or /n/.
gong - gone, hanged - hand, rang - ran, sing, - sin, sung - sun, etc.
 3. Listen and repeat. (Comparison /ŋ/ - /ŋk/)
hanger - hanker, rang - rank, singing - sinking, sung - sunk, thing - think, etc.
 4. Listen and repeat. (Comparison /ŋ/ - /ŋg/)
finger - singer, hunger - hanger, linger - longer (n.), longer (adj.) - longer (n.), etc.

IX. Lateral: /l/

Alveolar Lateral /l/

A. Difficulty

In Japanese there is no such phoneme as the English /l/. This lack of /l/ phoneme gives a lot of difficulty for Japanese learners of English both in production and in perception. To Japanese learners, for example, 'liberty' may sound like /lɪbətɪ/ or /lɪvətɪ/ or /rɪbətɪ/ or /rɪvətɪ/. Here are two kinds of difficulty involved, that is, the differentiation of /l/ - /r/ and /b/ - /v/.

In this connection, Gimson says, "Some learners, such as the Japanese and other Asians, whose own language does not have an opposition of the /l/ - /r/ type, should practice words distinguishing /l/ from /r/." (*An Introduction to the Pronunciation of English*, Edward Arnold, 1970, p. 212)

B. Advice

1. In producing /l/, the tip of the tongue must be in contact with the upper teeth ridge, allowing the air to escape on both sides or in the case of a unilateral tongue-rim closure on the upper side teeth, on one side.

2. It is important to use at least two main variants of /l/ correctly.

(a) 'Clear' [l], with a front vowel resonance, occurs before vowels and /j/.

(b) 'Dark' [ɫ], with a back vowel resonance resembling an o or u sound,

occurs in final positions, before a consonant and as a syllabic consonant.

This dark [ɫ] is articulated by placing the tongue-tip on the upper teeth ridge as for 'clear' [l] and simultaneously articulating a vowel of the o or u type with the back of the tongue.

3. Another voiceless variant, symbolized as [l̥], is used particularly after an accented /p/ or /k/, and is important in distinguishing the members of such pairs as 'plead - bleed' or 'class - glass'.

4. Word final [ɫ] is pronounced as [l] when followed by a word beginning with a vowel or /j/ in the same sense group.

5. Make a clear distinction between /l/ and /r/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

Clear [l] – word initial:

late, leave, let, lock, look, etc.

- in word initial clusters:
blow, glad, splice, etc.
- word medial:
collar, foolish, sailor, silly, yellow, etc.
- word final, intervocalic in context:
all over, fall out, feel it, will you, etc.

- Dark [ɾ] - word final, after vowel:
call, doll, feel, fell, fill, etc.
- after vowel, before consonant:
cord, film, help, milk, salt, etc.

Syllabic [ɾ̥]
eagle, final, middle, table, usual, etc.

Voiceless [ɾ̥]
clean, play, etc.

2. Listen and identify [ɾ] or [ɾ̥].
healthy, ill, lake, laugh, lend, life, light, old, table, told, etc.
3. Listen and identify [ɾ] or [ɾ̥].
class - glass, clue - glue, plead - bleed, plight - blight, etc.
4. Listen and repeat. (Words containing more than one /l/)
level, liable, lily, lonely, lull, etc.

X. Frictionless Continuant: /r/

Post-Alveolar Frictionless Continuant /r/

A. Difficulty

The Japanese /r/ is a quite different sound from the English /r/. A single tap is made by the tip of the tongue on the alveolar ridge, so it may be defined as a flapped [ɾ]. It is true that the frictionless continuant is a very troublesome articulation for Japanese learners of English but it is far more difficult to distinguish between /l/ and /r/.

B. Advice

1. Be careful in articulating /r/. In the case of /l/, contact is made between the tongue-tip and the upper teeth ridge but such a contact is not usually made for /r/. In addition, the articulation of /r/ is more retracted than that of /l/.

2. Friction occurs when /r/ follows /t, d/ as part of the clusters /tr, dr/ and also after /p, k/. After accented /p, t, k/, /r/ is devoiced (symbol [ɾ̥]).

3. /r/ is pronounced only before a vowel.

4. r is normally pronounced as a linking sound final in a word when the next word begins with a vowel and has a close syntactic association.

C. Practice

1. Listen and repeat.

/r/ - word initial:

rag, raw, reed, road, rude, etc.

- word medial, intervocalic:

arrow, hurry, mirror, sorry, very, etc.

– in consonantal clusters:

afraid, agree, apron, brief, crow, dress, dry, fry, hungry, price, proud, street, throw, tree, etc.

2. Listen and repeat. (Linking /r/)

far away, father and mother, here and there, poor old man, there are two, etc.

3. Listen and repeat. (Words containing more than one /r/)

bravery, brewery, library, rarer, treasury, etc.

4. Listen and repeat. (Comparison [r̥] - [r])

crow - grow, pray - bray, try - dry, etc.

5. Listen and identify /l/ or /r/.

bright - blight, bury - belly, crew - clue, fry - fly, grass - glass, grew - glue, literary - literally, pray - play, raw - law, read - lead(v.), red - led, right - light, rock - lock, rush - lush, writer - lighter, wrong - long, etc.

6. Listen carefully and say which of the following pairs makes sense.

(a) { We live on *rice*.
We live on *lice*.

(b) { Their eyes are *glowing*.
Their eyes are *growing*.

(c) { The children are *playing* in the playground.
The children are *praying* in the playground.

(d) { There was a notice saying 'Keep off the *glass*' in the park.
There was a notice saying 'Keep off the *grass*' in the park.

XI. Semi-Vowels: /w, j/

(1) Bilabial Semi-Vowel /w/

A. Difficulty

The Japanese /w/ is articulated in almost the same way as the English /w/, but the former is much less rounded. In Japanese /w/ occurs only before /a/. Therefore the sequences of /w + u/ and /w + ũ/ are most difficult to articulate.

e.g. wood /wŭd/ → [ŭ²d] / [ŭ²do]

woman /wŭmən/ → [umən]

wound /wund/ → [und]

B. Advice

1. The lips are rounded closely and energetically when followed by /u/ or /ŭ/.

2. When /w/ follows accented /t, k/, /w/ is devoiced.

3. /w/ may be regarded as a rapidly articulated /u/ or /ŭ/.

C. Practice

1. Listen and repeat.

[w] – word initial:

one, wave, wear, wet, wood, word, etc.

[w̥] – following accented /t, k/:

twelve, twig, twice, twin, etc.

queen, quick, quite, etc.

Slightly devoiced [w] — following /sk/, accented fortis fricative or unaccented /p, t, k/:
 square, squash, squirrel, etc.
 swear, swim, swoon, etc.
 equal, outward, upward, etc.
 pump water, take one, that word, etc.

[w] — intervocalic, or following lenis consonant:
 always, away, aware, etc.
 dwarf, dwindle, etc.

Possible /hw/ or /ɰ/
 what, wheat, whether, which, white, etc.

Possible oppositions /w/, /hw, ɰ/
 witch, which; weather, whether; wear, where; etc.

2. Listen and identify /wʊ/ or /ʊ/.
 umlaut, Urdu, wood, wool, etc.

(2) Unrounded Palatal Semi-Vowel /j/

A. Difficulty

The Japanese /j/ occurs only before /a, u, o/. There are no such sequences as /j + i/ or /j + e/. Therefore /ji/ tends to be /i/ and /je/ to be /ie/ or /e/.

e.g. yeast /jist/ → [ist]
 yes /jes/ → [ies]/[ies]
 yet /jet/ → [iet]/[ie²to]

B. Advice

1. /j/ may be regarded as a rapidly articulated /i/ or /ɪ/.
2. Be careful in articulating the sequences of /ji/ and /je/.
3. When /j/ follows accented /p, t, k, h/, it is devoiced.

C. Practice

1. Listen and repeat.

[j] — word initial:
 yacht, yard, yes, yield, young, etc.

[ç] — following accented /p, t, k, h/ (only before /u, ʊa/):
 pure, tune, cure, huge; accuse, secure, peculiar, etc.

Slightly devoiced [j̥] — following /sp, st, sk/, fortis fricatives or unaccented /p, t, k/:
 stew; pursue, refuse; help you, quick yield; etc.

[j] — following lenis consonant:
 beauty, duty, music; argue, endure, onion; etc.

2. Listen and identify /j/.
 yearn - earn, yeast - east, yes - S, yoke - oak, etc.

XII. Conclusion

Japanese learners of English are expected to express their thoughts and ideas in English in such a way as will make them intelligible and comprehensible to native speakers.

As for rhythm and intonation, Japanese learners of English often give undue duration of time

to the unstressed syllables, which results in the disturbance of the rhythm of each utterance. In perception as well, this fact explains the reason why they find it very difficult to recognize the unstressed syllables.

The Japanese language, as the present writer has mentioned above, does not have such oppositions as /l/ - /r/, /f/ - /h/, /b/ - /v/, /θ/ - /s/, /ʃ/ - /z/, and so on. The acquisition of a nearly native pronunciation seems to be very difficult.

Here the present writer would like to enumerate several important points which would be of some help to those who teach pronunciation.

- (1) The learner of English should be given some knowledge about phonetics and phonology.
- (2) He should understand the physical aspects of sound production.
- (3) Audio-visual aids should be used, whenever necessary.
- (4) The nature of difficulty must be made clear. In other words, the teacher of English should have a clear understanding of the areas of difficulty for Japanese learners of English.
- (5) The teacher is required to explain how the sounds in question differ at the point of articulation and in the manner of articulation, if necessary.
- (6) The course for pronunciation should be well designed and interesting, because drill in pronunciation tends to become boring and demands a lot of time and patience both on the side of the teacher and learners.
- (7) Finally, "Practice makes perfect".

(Received October 15, 1980)

B-Spline を用いた補間における節点決定の一手法

(数 学) 今 井 勲
(徳島大学) 富 田 豊

A Method determining Sub-optimal Knot Placement for B-Spline Interpolation

Kure Technical College Isao IMAI
Tokushima University Yutaka TOMITA

This paper is concerned with sub-optimal knot placement for B-spline interpolation. The method presented here is for searching the knot that gives the smallest value of L by employing the length L of interpolating curve as a criterion.

Two cases are given as numerical examples, in which accuracy of interpolation has been calculated and compared by using B-spline and cubic spline.

1. はじめに

最近, spline 関数は多くの方面で注目されるようになってきている。従来, 関数近似には数学的性質と取扱いの簡単さから多項式近似が広く使われてきた。しかし, それには余分な振動を起すという大きな欠点がある。これに対して, spline 関数は区分的な関数であるため, ある局所的な変動が全体的に大きく影響を及ぼすことは少なく, 安定した近似を与えることが一つの大きな理由であろう。さらにまた, spline 関数にはいくつかの表現法があるが, 現在では M. G. Cox, C. de Boor 等により B-spline 関数を高次まで安定的に計算する方法が開発され手軽に扱えるようになってきている。

しかし, この B-spline も節点の選び方によっては望ましくない振動を起すことも知られている。そのため節点の決定は非常に重要な問題となってくるが, その最適位置を解析的に求めることは非線形問題を解くことになり大変困難である。そこで, ここでは B-spline 関数を用いた補間の場合, 補間曲線の弧の長さを規範にとり, 節点を決定する方法について考える。

2. 問題の記述

x 軸上の区間 $[a, b]$ において

$$a = x_0 < x_1 < \dots < x_N = b \quad (1)$$

となる標本点 x_i ($i = 0, 1, \dots, N$) に対して値 y_i が与えられているものとする。このとき,

$$S(x_i) = y_i \quad (2)$$

をみたす spline 関数 $S(x)$ を求めることであるが, ここでは基底関数として m 階 ($m - 1$ 次) の

B-spline を用いることとする。

節点 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ および基底を作るための $2m$ 個の付加節点がそれぞれ

$$\xi_1 < \xi_2 < \dots < \xi_n \tag{3}$$

$$\left. \begin{aligned} \xi_{1-m} = \xi_{2-m} = \dots = \xi_0 = a \\ \xi_{n+1} = \xi_{n+2} = \dots = \xi_{n+m} = b \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

のように与えられているものとすれば、spline 関数 $S(x)$ は次のように表される。

$$S(x) = \sum_{i=1}^{n+m} c_i M_{mi}(x) = \sum_{i=1}^{n+m} c_i N_{mi}(x) \tag{5}$$

ここに、 $M_{mi}(x)$ は節点 $\xi_{i-m}, \xi_{i-m+1}, \dots, \xi_i$ に対して定義された m 階の B-spline である。すなわち

$$M_m(x; y) = (y-x)_+^{m-1} \tag{6}$$

とおけば

$$\begin{aligned} M_{mi}(x) &= M_m(x; \xi_{i-m}, \xi_{i-m+1}, \dots, \xi_i) \\ &= \{M_m(x; \xi_{i-m+1}, \xi_{i-m+2}, \dots, \xi_{i-k}) - M_m(x; \xi_{i-m}, \xi_{i-m+1}, \dots, \\ &\quad \xi_{i-k-1})\} / (\xi_{i-k} - \xi_{i-m}) \quad (k = m-1, m-2, \dots, 0) \end{aligned} \tag{7}$$

により与えられる。^(*) また $N_{mi}(x)$ は正規化された B-spline

$$N_{mi}(x) = (\xi_i - \xi_{i-m}) M_{mi}(x) \tag{8}$$

である。

さらに、一意的に補間できるために

$$N + 1 = m + n \tag{9}$$

および Schoenberg-Whitney の条件

$$\left. \begin{aligned} x_0 < \xi_1 < x_m \\ x_1 < \xi_2 < x_{m+1} \\ \dots\dots\dots \\ x_{N-m} < \xi_n < x_N \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

が成立するものと仮定すれば、式(2)、式(5)により係数 c_i を決定することができ、従って $S(x)$ を求めることができる。そして、曲線 $y = S(x)$ ($a \leq x \leq b$) の弧長 L は

$$L = \int_a^b \sqrt{1 + \left\{ \frac{d}{dx} S(x) \right\}^2} dx \tag{11}$$

により与えられるので、この値をなるべく小さくするような節点 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ を次のようにして探すことが可能である。

3. 準最適節点の決定

簡単にするため標本点間隔はすべて等しいものとし、求める ξ_j ($j = 1, 2, \dots, n$) は各区間 $[x_{i-1}, x_i]$ ($i = 1, 2, \dots, N$) を幅 h で分割した等分点と標本点とをすべて合わせてできる集合 K の異なった元とする。従って、初期節点 $\xi_1^0, \xi_2^0, \dots, \xi_n^0$ も $\xi_j^0 \in K$ ($j = 1, 2, \dots, n$) と与えることとする。以上の仮定のもとに ξ_1 (手順では ξ_1^{SOPT} とした) を探す手順を具体的に述べれば次のようになる。

[ξ_1 探索の手順]

(*) (註) 拡張スプラインについては、参考文献；20～22ページ参照のこと。

- Step 1:** 初期節点 $\xi_1^0, \xi_2^0, \dots, \xi_n^0$ を与え弧長 L を計算する。
 $\xi_1^+ = \xi_1^0 + h, \xi_2^0, \dots, \xi_n^0$ を節点として弧長 L_1^+ を計算する。
 $\xi_1^- = \xi_1^0 - h, \xi_2^0, \dots, \xi_n^0$ を節点として弧長 L_1^- を計算する。
- Step 2:** $S_a1 = L_1^+ - L, S_a2 = L_1^- - L$ を計算する。
- Step 3:** $S_a1 \geq 0$ and $S_a2 \geq 0$ なら準最適点 $\xi_1^{\text{SOPT}} = \xi_1^0$ として計算終了。
- Step 4:** $S_a1 \leq S_a2$ なら $L = L_1^+, \bar{\xi}_1 = \xi_1' = \xi_1^+$, Direction = +1 として **Step 6** へ。
- Step 5:** $L = L_1^-, \bar{\xi}_1 = \xi_1' = \xi_1^-,$ Direction = -1 とおく。
- Step 6:** $\bar{\xi}_1$ を Direction の方向へ $2h$ 移動したものを再び $\bar{\xi}_1$ とする。
 $\bar{\xi}_1, \xi_2^0, \dots, \xi_n^0$ を節点として弧長 L_1 を計算する。
- Step 7:** 差 $L_1 - L < 0$ なら $L = L_1, \xi_1' = \bar{\xi}_1$ として **Step 6** へ。
 差 $L_1 - L \geq 0$ なら $\bar{\xi}_1$ を反 Direction の方向に h 移動したものを再び $\bar{\xi}_1$ とし, $\bar{\xi}_1, \xi_2^0, \dots, \xi_n^0$ を節点として弧長 L_2 を計算する。
- Step 8:** 差 $L_2 - L < 0$ なら準最適点 $\xi_1^{\text{SOPT}} = \bar{\xi}_1$ として計算終了。
 差 $L_2 - L \geq 0$ なら準最適点 $\xi_1^{\text{SOPT}} = \xi_1'$ として計算終了。

ξ_2 の探索は $\xi_1^{\text{SOPT}}, \xi_2^0, \dots, \xi_n^0$ を初期節点として ξ_1 のときと同じ要領で **Step 1** から計算をはじめ
 る。 ξ_3, \dots, ξ_n についても同様であり、収束するまでこの操作を繰り返し続ける。

続いて導関数 $\frac{d}{dx} S(x)$ の計算の方法について述べる。 B-spline $M_{mi}(x)$ の計算のための Cox-de Boor のアルゴリズムは次のように表わされる。

$$M_{rj}(x) = \{(x - \xi_{j-r}) M_{r-1, j-1}(x) + (\xi_j - x) M_{r-1, j}(x)\} / (\xi_j - \xi_{j-r}) \quad (12)$$

$$M_{1j}(x) = \begin{cases} (\xi_j - \xi_{j-1})^{-1} & (\xi_{j-1} \leq x < \xi_j) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (13)$$

式(12), 式(13)より次の2式を得る。

$$\frac{d}{dx} M_{rj}(x) = \left\{ M_{r-1, j-1}(x) - M_{r-1, j}(x) + (x - \xi_{j-r}) \frac{d}{dx} M_{r-1, j-1}(x) + (\xi_j - x) \frac{d}{dx} M_{r-1, j}(x) \right\} / (\xi_j - \xi_{j-r}) \quad (14)$$

$$\frac{d}{dx} M_{1j}(x) = 0 \quad (15)$$

式(5)を微分して得られた次式と式(12)～式(15)により $\frac{d}{dx} S(x)$ を求めることができる。

$$\frac{d}{dx} S(x) = \sum_{i=1}^{n+m} c_i^* \cdot \frac{d}{dx} M_{mi}(x) = \sum_{i=1}^{n+m} c_i \cdot \frac{d}{dx} N_{mi}(x) \quad (16)$$

4. 計算例

階数4 ($m=4$), 節点個数7 ($n=7$) そして細分割点幅(節点移動幅) $h=0.005$ とする。さらに、付加節点を式(4)より次のようにとる。

$$\left. \begin{aligned} \xi_{-3} = \xi_{-2} = \xi_{-1} = \xi_0 = 0.0 \\ \xi_8 = \xi_9 = \xi_{10} = \xi_{11} = 1.0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

次に、spline 関数 $S(x)$ を計算したとき、その補間精度を調べるために次式を評価式として用いることにする。

$$G = \frac{1}{201} \sum_{k=1}^{201} |S(x_k) - y_k| \quad (18)$$

ただし, $x_k = 0.005 \cdot (k-1)$ とする。

一方, 式(2)をみたす cubic spline は次式で与えられる。

$$S(x) = C_{i-1} \left\{ \frac{(x_i - x)^3}{6l_i} - \frac{x_i - x}{6} l_i \right\} + C_i \left\{ \frac{(x - x_{i-1})^3}{6l_i} - \frac{x - x_{i-1}}{6} l_i \right\} \\ + \frac{x_i - x}{l_i} y_{i-1} + \frac{x - x_{i-1}}{l_i} y_i \quad (19)$$

ここに,

$$\left. \begin{aligned} C_i &= \frac{d^2}{dx^2} S(x_i) \\ l_i &= x_i - x_{i-1} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

である。

そして端条件として

$$\left. \begin{aligned} 2C_0 + C_1 &= 0 \\ C_{N-1} + 2C_N &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

を採用して cubic spline により補間した結果とこれまでに述べた方法による節点を使用しての B-spline 補間の結果とを次の2つの例で比較してみる。

例1. [1つの極大点をもつデータの場合]

次式により与えられる11個のデータを用いる。

$$y_i = \frac{1}{0.01 + (x_i - 0.3)^2} \quad (x_i = 0.0, 0.1, \dots, 1.0) \quad (22)$$

このときの初期節点とそれに対する準最適節点, およびそれらを節点に用いて B-spline により補間したときの G の値と cubic spline による場合の G の値とを示せば Table 1. のようになる。

Table 1 Comparison of accuracy of interpolation calculated by using B-spline and cubic spline respectively.

B-spline	Initial knot	.3 .4 .5 .6 .7 .8 .9	G	8653.451
	Sub-optimal knot	.265 .27 .385 .52 .665 .785 .9	G	.239
Cubic spline	End conditions	$2C_0 + C_1 = 0, C_{N-1} + 2C_N = 0$	G	.454

例2. [2つの極大点をもつデータの場合]

$$y_i = \frac{1}{0.15 - 1.2x_i + 3.95x_i^2 - 5.333x_i^3 + 2.5x_i^4} \quad (x_i = 0.0, 0.1, \dots, 1.0) \quad (23)$$

11個のデータを上式より求め例1と同様の計算を行った結果を Table 2 に示す。

Table 2 Comparison of accuracy of interpolation calculated by using B-spline and cubic spline respectively.

B-spline	Initial knot	.3 .4 .5 .6 .7 .8 .9	G	135.701
	Sub-optimal knot	.315 .4 .405 .595 .7 .795 .9	G	.642
Cubic spline	End conditions	$2C_0 + C_1 = 0, C_{N-1} + 2C_N = 0$	G	.647

5. むすび

以上計算例からもわかるように、もし適切な節点を与えられれば、B-spline を補間に用いることにより、より精度の高い結果を期待することが出来る。すなわち B-spline の有用性がわかる。しかし、実際に節点をどのように決定するかについては十分に研究がなされていないとは云えないようである。このような理由から、ここでは、測定データが少ししか得られていない場合を想定し B-spline 補間を行うにあたり、そのよい節点を探すための一つの方法について述べたものである。

計算例における数値計算にはデスクトップ・コンピューター H. P. System 35 を使用した。なお、参考のため微分値を求めるためのサブルーチン・プログラムを付録に掲げた。

おわりに、平素御指導いただいている徳島大学工学部添田 喬教授に謝意を表します。

参考文献

市田・吉本：スプライン関数とその応用，教育出版，1979。

(昭和55年10月15日受付)

付 録

```

SUBROUTINE DBSPL(X,NKNOT,GZAI,IOR,IGZ,RN,DN)
EVALUATION OF DERIVATIVE OF A NORMALIZED B-SPLINE DN
AT X
DIMENSION GZAI(NKNOT),RM(10,9),RN(10),DN(10,9),DN(10)
DO 10 I=1,NKNOT
IF(X.LT.GZAI(I)) GOTO 20
10 CONTINUE
IGZ=RNKNOT-IOR+1
GOTO 30
20 IGZ=I
30 IORMI=IOR-1
DO 40 I=1,IORMI
DO 40 J=1,IORMI
RM(I,J)=0.
DN(I,J)=0.
40 CONTINUE
RM(2,1)=1./(GZAI(IGZ)-GZAI(IGZ-1))
DO 50 J=2,IORMI
JPI=J-1
DO 50 I=2,JPI
K=IGZ+I-2-J
L=IGZ+I-2
RM(I,J)=(X-GZAI(K))*RM(I-1,J-1)+(GZAI(L)-X)*RM(I,J-1)/
* (GZAI(L)-GZAI(K))
DN(I,J)=(RM(I-1,J-1)-RM(I,J-1)+(X-GZAI(K))*DM(I-1,J-1)+
* (GZAI(L)-X)*DM(I,J-1))/(GZAI(L)-GZAI(K))
50 CONTINUE
IORMI=IOR+1
DO 60 I=2,IORMI
K=IGZ+I-2-IOR
L=IGZ+I-2
RM(I-1)=X-GZAI(K))*RM(I-1,IORMI)+(GZAI(L)-X)*RM(I,IORMI)
DN(I-1)=RM(I-1,IORMI)-RM(I,IORMI)+(X-GZAI(K))*DM(I-1,IORMI)
* (GZAI(L)-X)*DM(I,IORMI)
60 CONTINUE
DO 70 I=1,IORMI
IF(RM(I).LT.1.0E-10)RM(I)=0.
!F(A65(DN(I)).LT.1.0E-10)DN(I)=0.
70 CONTINUE
RETURN
END
A/I: X, NKNOT, GZAI, IOR
H/I: IGZ, RN, DN (DN 微分値)
(参考文献: 179ページ, B5ページ 参照)
    
```

円弧インボリュート接合カムの研究(第2報)

——揺動従動節——

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Connective Involutes and
Circular Arcs Cam (2nd Report)
—Oscillating Follower—

Hironori ITOSHIMA

The connective involutes and circular arcs cam has a profile composed of the three involute curves and the two circular arcs, and the motion of the reciprocating follower with a circular arc had been analysed in the 1st report.

In this paper, the angular motion of the oscillating follower with a circular arc or with a flat plate is analysed. The maximum angular acceleration of the follower, the pressure angle and the specific sliding are discussed. And the maximum angular acceleration of the follower can be decreased by using the two circular arcs. When the oscillating behaviour of a follower and the rotating angle of a cam are specified, the design of the best cam is decided.

§ 1 緒 言

前報¹⁾においてカムの輪郭が2つの円弧を含む3つのインボリュート曲線を接合した接合カムの縮閉線の接合法とその方程式を示し、往復従動節の運動と押進め角と滑り率を論じ、最大加速度と最大押進め角とカムの最大滑り率が小さい値になるようにカムの各寸法を従動節のリフトを基準として設計した。

本報告においてはこのカムを用いて揺動節の場合、従動節が円弧(あるいはローラ)か平板の場合に対する従動節の運動、最大押進め角、滑り率等を解析し、最良のカムの設計を行う。揺動従動節の場合は無次元のためにカムと従動節の軸間距離を基準とする。

§ 2 記 号

r_{g1}, r_{g2}, r_{g3} : 第1, 2, 3インボリュート曲線の基礎円半径

α, β, γ : 第1, 2, 3インボリュート曲線の作用角

τ_1, τ_2 : 第1, 2円弧の作用角

Σ : カムの作用角

R_0 : カムの基礎円半径

n_{12} : $n_{12} = r_{g2}/r_{g1}$

t : カムの高さ

ϵ : カムの輪郭のパラメーター

θ : カムのフレームに対する回転角

d : カムと従動節の軸間距離

ϕ : 押進め角

ρ_T : カムの輪郭の曲率半径

Ψ : 従動節の揺動角

θ_d : 上昇停留角

θ_e : 下降停留角

φ : 従動節の角変位

$\dot{\varphi}/d\theta$: 従動節の角速度係数

$d^2\varphi/d\theta^2$: 従動節の角加速度係数

l : 円弧従動節の長さ

λ : $\lambda = \frac{l}{d}$

r : 円弧従動節の半径

f : 平板従動節のオフセット量

σ_1 : カムの滑り率

σ_2 : 従動節の滑り率

φ_0 : 始点の従動節の角変位

§ 3 円弧インボリュート接合カム

前報¹⁾と図1に示されているように基礎円半径がそれぞれ $r_{\theta 1}$, $r_{\theta 2}$, $r_{\theta 3}$ の円 O_1 , O_2 , O_3 の交点を O , P , Q とし, 交点 O を原点とし, 円 O_1 に接する直線を x 軸とし, それに直角な $O_1 O$ を y 軸とす。円 O_1 上の OP を縮閉線とする第1インボリュート曲線 AB を作り, OA をカムの基礎円半径 R_0 とす。 P 点を中心に半径 BP で第1円弧 BC を描き, PC を P 点における円 O_2 の接線とす。 PQ を縮閉線とする第2インボリュート曲線 CD を描き, Q 点を中心として QD の半径で第2円弧 DE を描き, QE を Q 点における円 O_3 の接線とする。 QO を縮閉線とする第3インボリュート曲線 EF を作れば点 A から F までのこれら5つの曲線が円弧インボリュート接合カムの往き行程のカムの輪郭となる。

基礎円 O_1 の接線 OA , PB のなす角を α , 円 O_2 の接線 PC , QD のなす角を β , 円 O_3 の接線 QE , OF のなす角を γ とし, $\angle BPC$, $\angle DQE$ をそれぞれ τ_1 , τ_2 とすれば, α , β , γ は第1, 2, 3インボリュートの作用角で, τ_1 , τ_2 は第1, 2円弧の作用角となり, $\angle AOF = \Sigma$ とすれば Σ は往き行程のカムの作用角で次式のようになる。

$$\Sigma = \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 + \gamma \dots\dots\dots (1)$$

図2は上昇停留角 θ_d , 下降停留角 θ_e をもち, 戻り行程の作用角を往きと同じく Σ としたカムの全輪郭を示す。高速カムにはこの様な対称カムが使用される。

図1においてインボリュート曲線上に T 点を取り, その曲率中心を G とし, OA と TG の交角を ϵ とし, ϵ をパラメーターとしてカム上の点 T を表わす。曲率半径 TG を ρ_T で示す。

前報¹⁾により円弧インボリュート接合カムの輪郭の方程式は ϵ をパラメーターとして示され, 前報¹⁾の表1に $\Sigma = 120^\circ$, カムの高さ $t = 1$ の場合で, 各作用角が指定された場合の基礎円半径が示されている。

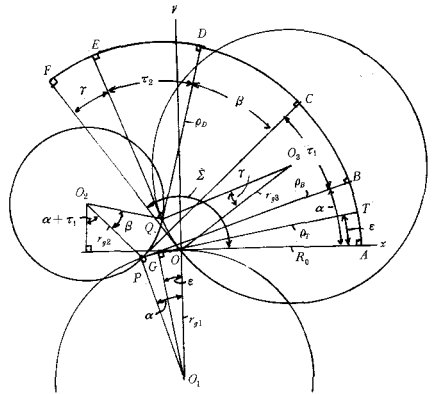


図1 円弧インボリュート接合カムの機構

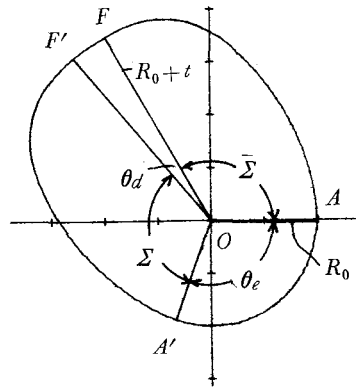


図2 カムの全輪郭

§ 4 円弧揺動従動節の場合の揺動角と軸間距離の指定

前報¹⁾においては往復従動節のためリフト H を基準としたが, 揺動従動節の場合は軸間距離 d を基準とし, 揺動角 Ψ を指定する必要がある。それには前報²⁾と図3により従動節の円弧半径 r , 長さ l とし円弧

がカムの基礎円に接する場合の従動節の角変位 φ_0 と揺動角 Ψ は次式ようになる。

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (R_0 + r)^2}{2dl} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\Psi = \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (R_0 + r + t)^2}{2dl} - \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (R_0 + r)^2}{2dl} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(3)を変形して d を求めれば次式が得られる。

$$d^2 = \frac{(1 + \lambda^2)(A^2 + B^2)(1 - \cos \Psi) - \sqrt{D}}{2(1 - \cos \Psi)\{(1 + \lambda^2)^2 - 2\lambda^2(1 + \cos \Psi)\}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$D = \{(1 + \lambda^2)(A^2 + B^2)(1 - \cos \Psi)\}^2 - 2(1 - \cos \Psi)\{(1 + \lambda^2)^2 - 2\lambda^2(1 + \cos \Psi)\}(A^4 + B^4 - 2A^2B^2 \cos \Psi)$$

ただし $A = R_0 + r + t$, $B = R_0 + r$, $\lambda = l/d$

前報¹⁾の表1の例2の場合のデータで $\Psi = 20^\circ$, $\lambda = 0.7$ の場合 $R_0 + r = 1.8 \sim 4.5$ を式(4)に代入して d を求め $d = 1$ とするために $t = 1$, $R_0 + r$, r_{q1} , r_{q2} , r_{q3} を d で割った値を表1-1に示す。

$\Psi = 20^\circ$, $\lambda = 0.8$, $R_0 + r = 1.0 \sim 3$ の場合を表1-2に示す。 $\lambda = 0.6$ の場合は式(4)の D が負となって d が求められない。

表1-1 $\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 30^\circ$, $r = 15^\circ$, $\tau_1 = 20^\circ$, $\tau_2 = 40^\circ$, $t = 1$, $r_{q1} = 5.75877$, $r_{q2} = 3.16261$, $r_{q3} = 4.38617$
 $\Psi = 20^\circ$, $\lambda = 0.7$, $d = 1$, $l = 0.7$

$R_0 + r$	1.8	2	2.5	3	3.5	4	4.5
d	4.42381	4.21340	4.11351	4.16557	4.27593	4.41979	4.58658
t	0.22605	0.23734	0.24310	0.24006	0.23387	0.22626	0.21803
$R_0 + r$	0.40689	0.47468	0.60775	0.72019	0.81854	0.90502	0.98112
r_{q1}	1.30177	1.36678	1.39996	1.38247	1.34679	1.30295	1.25557
r_{q2}	0.71491	0.75061	0.76883	0.75923	0.73963	0.71556	0.68954
r_{q3}	0.99149	1.04101	1.06628	1.05296	1.02578	0.99239	0.95631
例		1	2	3			

表1-2 $\Psi = 20^\circ$, $\lambda = 0.8$, $d = 1$, $l = 0.8$

$R_0 + r$	1	1.3	1.5	2	2.5	3
d	4.02896	3.66359	3.61275	3.61476	3.69143	3.80500
t	0.24820	0.27296	0.27680	0.27664	0.27090	0.26281
$R_0 + r$	0.24820	0.35484	0.41520	0.55329	0.67725	0.78844
r_{q1}	1.42934	1.57189	1.59401	1.59312	1.56004	1.51347
r_{q2}	0.78497	0.86326	0.87540	0.87492	0.85675	0.83117
r_{q3}	1.08867	1.19723	1.21408	1.21340	1.18820	1.15274
例				4		

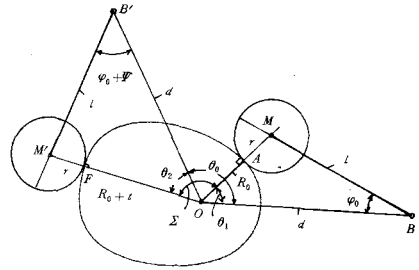


図3 始点と終点での接触

§ 5 円弧従動節の場合の往きと戻り行程のカム回転角

前報²⁾と図3により $\angle MOB = \theta_1$, $\angle M'O'B' = \theta_2$ とすれば

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{(R_0+r)^2 + d^2 - l^2}{2d(R_0+r)} \dots\dots\dots (5)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{(R_0+r+t)^2 + d^2 - l^2}{2d(R_0+r+t)} \dots\dots\dots (6)$$

が得られ、往きと戻り行程のカムの回転角を θ_0 , θ_r とすれば前報²⁾より次式が得られる。

$$\theta_0 = \Sigma + \theta_1 - \theta_2, \quad \theta_r = \Sigma - (\theta_1 - \theta_2) \dots\dots\dots (7), (8)$$

5.1 $\theta_0 = \theta_r$ の場合

$\theta_0 = \theta_r$ の場合は式(7), (8)より $\theta_1 = \theta_2$ となり次式が得られる。

$$\theta_0 = \theta_r = \Sigma \dots\dots\dots (9)$$

式(5), (6)の右辺を等しくおけば

$$\theta_1 = \theta_2, \quad d^2 - l^2 = (R_0+r)(R_0+r+t) \dots\dots\dots (10)$$

となり、さらに次式が得られる。

$$d^2 = \left(\frac{t}{2} \cot \frac{\Psi}{2}\right)^2 + \left(R_0+r + \frac{t}{2}\right)^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$l = \frac{t}{2} / \sin \frac{\Psi}{2} \dots\dots\dots (12)$$

$\theta_0 = \theta_r = \Sigma = 120^\circ$ の場合, $t=1$, $\Psi=20^\circ$ のとき, 前報¹⁾の表1の例2の場合のデータを $R_0+r=1\sim 4$ として式(11)から d を求め d の値で R_0+r , t , r_{q1} , r_{q2} , r_{q3} を割った値を表2に示す。

表2 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=15^\circ$, $\beta=30^\circ$, $r=15^\circ$, $\tau_1=20^\circ$, $\tau_2=40^\circ$, $t=1$,
 $r_{q1}=5.75877$, $r_{q2}=3.16261$, $r_{q3}=4.88617$
 $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $\theta_0=\theta_r=120^\circ$

R_0+r	1	2	2.5	3	3.5	4
t	0.28819	0.26453	0.24225	0.22200	0.20395	0.18801
R_0+r	0.43228	0.52906	0.60561	0.66600	0.71383	0.75203
l	0.82980	0.76168	0.69752	0.63922	0.58725	0.54135
r_{q1}	1.65959	1.52335	1.39503	1.27844	1.17451	1.08270
r_{q2}	0.91142	0.83660	0.76613	0.70209	0.64502	0.59460
r_{q3}	0.26403	1.16026	1.06253	0.97372	0.89456	0.82464
例				A	B	C

§ 6 円弧従動節の運動と押進め角と滑り率

円弧従動節の場合の運動はカム上の点 T と円弧の中心 M の $x\psi$ 座標を x_T, ψ_T, x_M, ψ_M とすれば前報²⁾と同様に図4から次式が得られる。

$$x_M = x_T + r \cos \epsilon, \quad \psi_M = \psi_T + r \sin \epsilon \dots\dots\dots (13)$$

カムの回転角 θ は

$$\theta = \theta_1 + \tan^{-1} \frac{y_M}{x_M} - \cos^{-1} \frac{x_M^2 + y_M^2 + d^2 - l^2}{2d\sqrt{x_M^2 + y_M^2}} \quad (14)$$

となり、M点の $\xi\eta$ 座標を ξ_M, η_M とすれば

$$\xi_M = x_M \cos(\theta_1 - \theta) - y_M \sin(\theta_1 - \theta) \quad \dots\dots (15)$$

$$\eta_M = x_M \sin(\theta_1 - \theta) + y_M \cos(\theta_1 - \theta) \quad \dots\dots (16)$$

となるから、従動節の角変位を φ とすれば

$$\varphi = \sin^{-1}(\eta_M/l) - \varphi_0 \quad \dots\dots (17)$$

となり、従動節の角速度係数と角加速度係数は次のようになる。

$$\Theta = \varepsilon + \theta_1 - \theta \quad \dots\dots (18)$$

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{\eta_M \cos \Theta - \xi_M \sin \Theta}{(d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta} \quad \dots\dots (19)$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\theta} = \frac{d \times \eta_M}{(\rho_T + r) \{ (d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta \}} \quad \dots\dots (20)$$

$$\frac{d^2\varphi}{d\theta^2} = d \times \frac{\{ (d - \xi_M) \cos \Theta - \eta_M \sin \Theta \} \sin \Theta \frac{d\varphi}{d\theta} + \eta_M \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\theta} \right)}{\{ (d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta \}^2} \quad \dots\dots (21)$$

押進め角 ϕ とカムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は前報²⁾より次式のようにになる。

$$\phi = \Theta + \varphi + \varphi_0 - 90^\circ \quad \dots\dots (22)$$

$$\overline{TP} = (\eta_M / \sin \Theta) - r \quad \dots\dots (23)$$

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{\overline{TP}}{r + \overline{TP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad \dots\dots (24), (25)$$

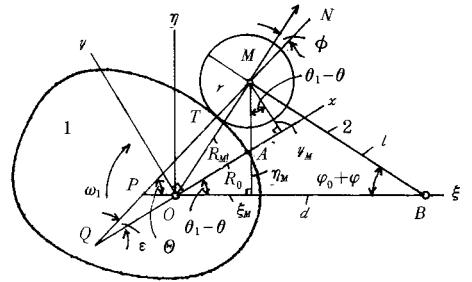


図4 揺動円弧従動節

§7 計算例

7.1 $\theta_0 \neq \theta_r$ の場合

例えば図5は表1-1の例1のデータで $R_0 + r = 0.47468, R_0 = 0.35601, r = 0.11867$ の場合の従動節の運動と押進め角 ϕ とカムの滑り率 σ_1 を示す。前報²⁾に比して負の最大角加速度がかなり減少していることがわかる。負の $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \doteq -0.6, \phi_{\max} \doteq -34^\circ, \sigma_{1\max} \doteq 1.4$ となるので、 ϕ_{\max} が少し大きい。 $\sigma_{1\max}$ は非常に小さいがこれは円弧挿入のためである。

ϕ_{\max} を小さくするために表1-1の例1, 2, 3のデータで押進め角 ϕ を求めたものを図6に示す。図から例2の場合が $\phi_{\max} = +21^\circ$ で最良である。このときの $R_0 + r = 0.60775$ で、 $R_0 + r$ がこれよりも小さくても ϕ は悪くなる。

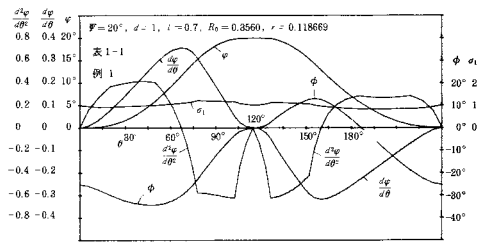


図5 表1-1の例1の運動と ϕ, σ_1

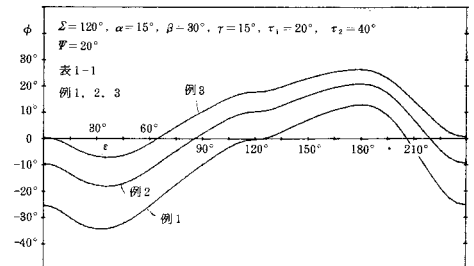


図6 表1-1の例1, 2, 3の ϕ

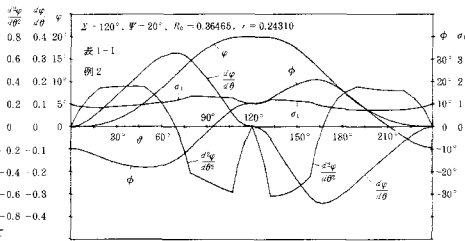


図7 表1-1の例2の運動と ϕ, σ_1

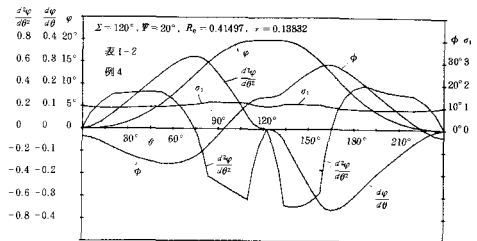


図8 表1-2の例4の運動と ϕ, σ_1

図7は表1-1の例2の $l=0.7$ の場合 $R_0=0.36465, r=0.24310$ の場合の運動と ϕ, σ_1 を示す。
 $(d^2\phi/d\theta^2)_{\max} \doteq -0.6, \phi_{\max} \doteq 21^\circ, \sigma_{1\max} \doteq 1.4$ で最良である。

図8は $l=0.8$ の表1-2の例4のデータの従動節の運動と ϕ, σ_1 を示す。 $(d^2\phi/d\theta^2)_{\max} \doteq -0.7, \phi_{\max} \doteq 29^\circ, \sigma_{1\max} \doteq 1.2$ となり図7の $l=0.7$ の場合に比して最大角加速度が少し大となるので、 l は小さい方がよい。 R_0+r が同一でも $R_0=(1-2)l$ が望ましいので $R_0 < l$ にとれば σ_1 が非常に大きくなることに注意して R_0 を選べばよい。

7.2 $\theta_0 = \theta_r$ の場合

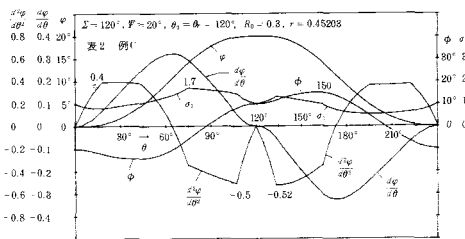


図9 表2の例Cの運動と $\phi, \sigma_1, \theta_0 = \theta_r$

表2において R_0+r が大きい程 l が減少するが、 l はできるだけ小さい方がよいので、表2の例Cのデータの場合を選んで、 $\theta_d = 0^\circ, \Psi = 20^\circ, \Sigma = 120^\circ, R_0 = 0.3, r = 0.45208$ の場合の運動と ϕ, σ_1 を図9に示す。
 $(d^2\phi/d\theta^2)_{\max} \doteq -0.52, \phi_{\max} \doteq +15^\circ, \sigma_1 \doteq 1.7$ となり、図7, 8に比して最大角加速度も最大押進め角も小さくて良好である。

図10は図9の場合の従動節の滑り率 σ_2 を従動節の圆弧上の位置 s で示したもので接触の両端と途中2ヶ所で $\sigma_2 = \infty$ となる。

図11は図7の例2と図9の例Cのカムの全輪郭を示す。 $\theta_d = 30^\circ, \theta_e = 120^\circ$ で共に曲線は滑かである。

§ 8 平板従動節の場合

揺動平板従動節の場合を図12に示す。接触面は f だけオフセットしている。平板がカムの往き行程の始点Aと終点

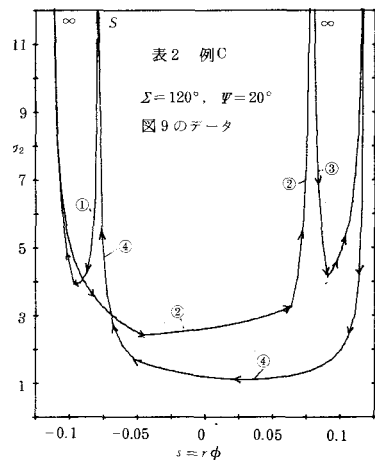


図10 表2の例Cの σ_2

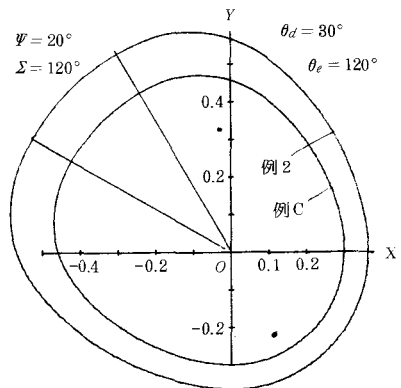


図11 表1, 2の例2, Cのカムの全輪郭, $\theta_d = 30^\circ$

Fに接する場合の従動節の角変位をそれぞれ φ_0 、 $\varphi_0 + \Psi$ とす。 Ψ は従動節の揺動角である。前報²⁾により次式を得る。

$$\varphi_0 = \sin^{-1} \frac{R_0 + f}{d} \dots\dots\dots (26)$$

$$\Psi = \sin^{-1} \frac{R_0 + f + t}{d} - \sin^{-1} \frac{R_0 + f}{d} \dots\dots (27)$$

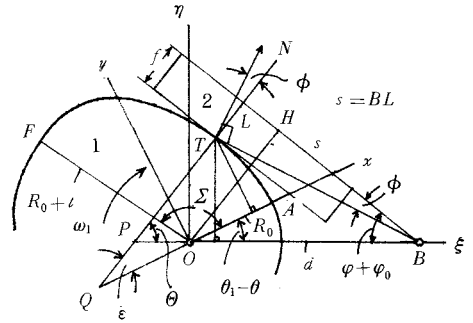


図12 揺動平板従動節

8.1 揺動角の指定

式(27)を変形してdを求めれば次式が得られる。

$$d = \frac{1}{\sin \Psi} \sqrt{(R_0 + f + t)^2 + (R_0 + f)^2 - 2(R_0 + f)(R_0 + f + t) \cos \Psi} \dots (28)$$

前報¹⁾の表1の例2のデータの場合について $\Psi = 20^\circ$ 、 $t = 1$ 、 $R_0 + f = 0.6 \sim 6$ で式(28)よりdを求め、 $d = 1$ とするためdで $R_0 + f$ 、 t と各 r_q を割った値を表3に示す。

表3 $\Sigma = 120^\circ$ 、 $\alpha = 15^\circ$ 、 $\beta = 30^\circ$ 、 $r = 15^\circ$ 、 $\tau_1 = 20^\circ$ 、 $\tau_2 = 40^\circ$ 、
 $r_{q1} = 5.75877$ 、 $r_{q2} = 3.16261$ 、 $r_{q3} = 4.38617$ 、 $t = 1$
 $\Psi = 20^\circ$ 、 $d = 1$

$R_0 + f$	0.6	1	1.5	2	3
d	3.08844	3.25742	3.52353	3.83864	4.57403
t	0.32379	0.30699	0.28381	0.26051	0.21863
$R_0 + f$	0.19427	0.30699	0.42571	0.52102	0.65588
r_{q1}	1.86462	1.76789	1.63438	1.50021	1.25902
r_{q2}	1.02401	0.97089	0.89757	0.82389	0.69143
r_{q3}	1.42019	1.34651	1.24482	1.14263	0.95893
例	④	③	①	②	⑤

$R_0 + f$	3.5	4.5	5	5.5	6
d	4.97883	5.83681	6.28344	6.73874	7.20103
t	0.20085	0.17133	0.15915	0.14840	0.13887
$R_0 + f$	0.70298	0.77097	0.79574	0.81618	0.83322
r_{q1}	1.15665	0.98663	0.91650	0.85458	0.79972
r_{q2}	0.63521	0.54184	0.50333	0.46932	0.43919
r_{q3}	0.88096	0.75147	0.69805	0.65089	0.60910
例			⑥	⑦	⑧

8.2 往きと戻り行程のカムの回転角

図13と前報²⁾により往きと戻り行程のカムの回転角を θ_0 、 θ_r とすれば

$$\theta_1 = \cos^{-1}(R_0 + f)/d = 90^\circ - \varphi_0 \dots\dots\dots (29)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(R_0 + f + t)/d = 90^\circ - (\varphi_0 + \Psi) \dots\dots\dots (30)$$

$$\theta_1 > \theta_2, \quad \theta_1 - \theta_2 = \Psi \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$\theta_0 = \Sigma + \Psi, \quad \theta_r = \Sigma - \Psi \quad \dots\dots\dots (32)$$

が得られ、図の場合 $\theta_0 > \theta_r$ となる。

§ 9 揺動平板従動節の運動および押進め角と滑り率

図12と前報^{1) 2)}からカムの回転角を θ ，従動節の角変位を φ ，従動節の揺動軸から接触点の水平距離を s ，従動節の角速度係数を $d\varphi/d\theta$ ，角加速度係数を $d^2\varphi/d\theta^2$ とすれば次式が得られる。

$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{x_T \cos \epsilon + y_T \sin \epsilon + f}{d} \right) - \varphi_0 \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$\theta = \epsilon + \varphi \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$s = d \cos(\varphi + \varphi_0) + y_T \cos \epsilon - x_T \sin \epsilon \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{y_T \cos \epsilon - x_T \sin \epsilon}{s} \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$\frac{d^2\varphi}{d\theta^2} = \frac{1}{s} \left[\{ \rho_T + f - d \sin(\varphi + \varphi_0) \} \left(1 - \frac{d\varphi}{d\theta} \right)^2 + d \sin(\varphi + \varphi_0) \left(\frac{d\varphi}{d\theta} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (37)$$

押進め角 ϕ は図12から次式のようになる。

$$\phi = \tan^{-1} (f/s) \quad \dots\dots\dots (38)$$

カムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は前報²⁾から次式となる。

$$\overline{TP} = \frac{d \sin(\varphi + \varphi_0)}{1 - d\varphi/d\theta} - f \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$\sigma_1 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T}, \quad \sigma_2 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad \dots\dots\dots (40)$$

§ 10 計算例

図14は表3の $\Sigma = 120^\circ, \Psi = 20^\circ$ の例①, ②, ③のデータで $f = 0$ としたときの従動節の角加速度係数を θ に対して示す。 R_0 はそれぞれ 0.42571, 0.52102, 0.30699 であるにも拘らず図において余り変化は見られないのみならず、カムの第1, 2円弧を与えた効果がほとんどなく、前報²⁾の場合に比して悪くなっている。 $(d^2\varphi/d\theta^2)_{\max} = -0.75$ ，戻り行程ではそれが約1.0である。

図15は表3の例①の場合の運動と σ_1 を示す。 $\phi = 0^\circ, \sigma_{1\max} \doteq 2.1$ である。

図16は表3の例③において $R_0 = 0.30699, 0.2, 0.4$ で $f = 0.010690, -0.09301$ の場合で $R_0 + f$ が一定の場合の角加速度係数を示す。同一の曲線となり、 R_0 が小さければ $\sigma_{1\max}$ が大きくなる。

図17は表3の例⑤, ⑥, ⑧の $f = 0$ の場合の $d^2\varphi/d\theta^2$ を示す。図から R_0 が大きくなると戻り行程の正の角加速度の値は低くなるが、負のそれが大となるので、 R_0 は大きすぎても悪い。

図18は表3の例⑦の場合の運動と σ_1 を示す。戻り行程において $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \doteq \pm 0.8$ で前報²⁾のカムの輪郭に円弧のない方が $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} = \pm 0.7$ で低い値である。図19において R_0 を小さくするために $f = -0.05 \sim -0.2$ にとった場合の ϕ, σ_1 を示す。 $f = 0.2$ のとき $\sigma_{1\max} \doteq 1.6$ 位であるが、 $\phi_{\max} \doteq 40^\circ$ となるので f を大きくして R_0 を小さくすることが困難である。

図20は表3の例②の $f = -0.1 \sim 0.3$ の ϕ と σ_1 を示す。 $f = 0.3$ のとき、 $R_0 = 0.32102$ となり、 ϕ_{\max}

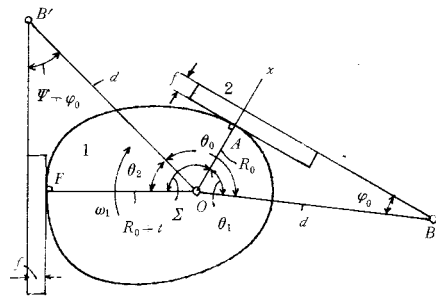


図13 始点と終点の接触

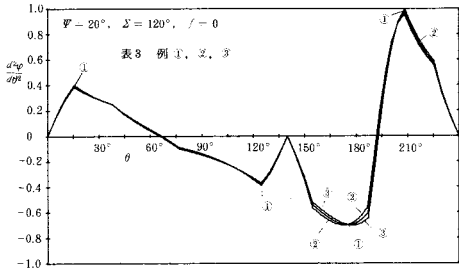


図14 表3の例①, ②, ③の角加速度係数

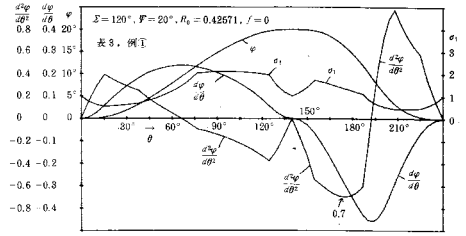


図15 表3の例①の運動と σ_1 , $f=0$

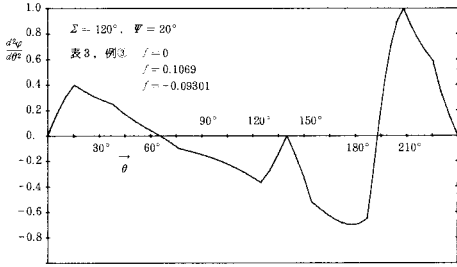


図16 表3の例③の f の変化による $d^2\phi/d\theta^2$

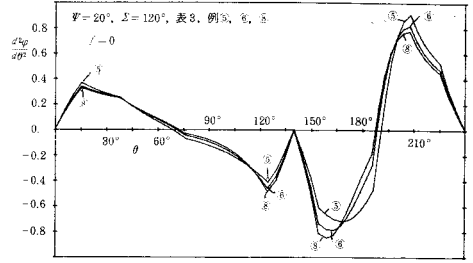


図17 表3の例⑤, ⑥, ⑧の $f=0$ の $d^2\phi/d\theta^2$

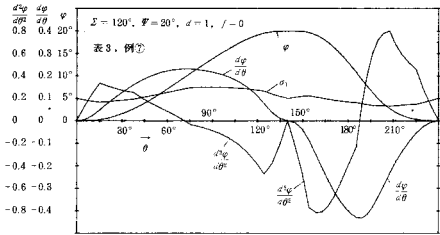


図18 表3の例⑦の $f=0$ の運動と σ_1

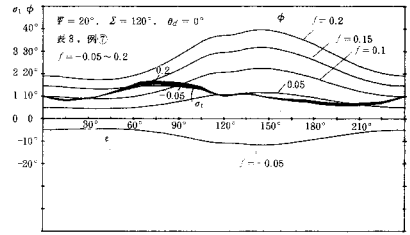


図19 表3の例⑦の f の変化による ϕ と σ_1

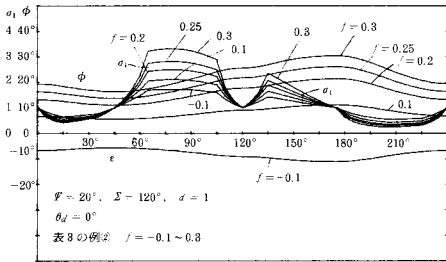


図20 表3の例②の f の変化による ϕ と σ_1

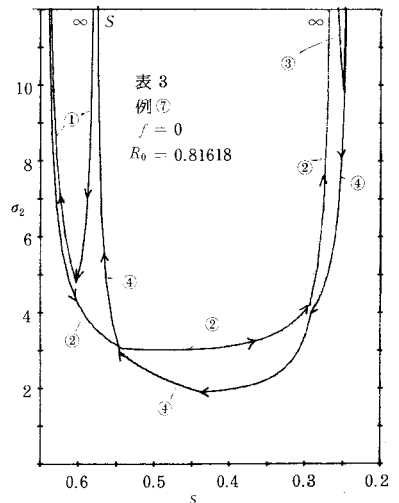


図21 表3の例⑦の $f=0$ の σ_2

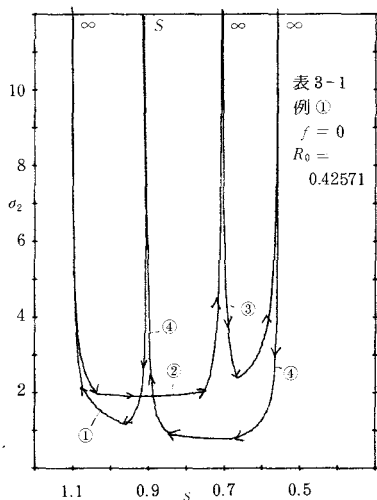


図22 表3の例①の $f=0$ の σ_2

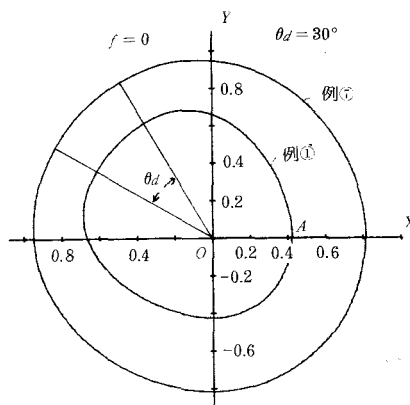


図23 表3の例①, ⑦のカムの輪郭

$\div 30^\circ$, $\sigma_{1\max} \div 3$ となるから表3の $R_0 + f$ の小さい方を選べば R_0 を小さくできる。

図21は表3の例⑦の $f=0$ の場合の σ_2 を平板上の点の s を横軸に示す。接触の両端と途中2ヶ所 $\sigma_2 = \infty$ が存在するが、これが両端に近い点に問題がある。図22は表3の例①の σ_2 を示す。S点から接触が始まり①→②→③→④の順に接触点は移動してS点に戻る。図21に比し途中 $\sigma_2 = \infty$ が均等になっているので例①の方が例⑦に比して良好である。

図23は表3の例①, ⑦のカムの全輪郭を示す。例①の方がカムが小さくて良い。ただし $\theta_d = 30^\circ$ の輪郭で曲線は滑らかである。

§11 結 論

以上の研究により円弧インボリュート接合カムは円弧揺動従動節の場合は円弧をカムの輪郭に挿入しないインボリュート接合カムに比して最大角加速度を減少させ、最大押進め角、カムの最大滑り率を減少させる効果があり、他の接合カムに比して各作用角を任意に指定することができる。本報告では $\Sigma = 120^\circ$ で揺動角 $\Psi = 20^\circ$ の場合のみ取扱った。

(A) 円弧従動節の場合 (1)円弧の挿入により負の最大角加速度が大幅に減少する。(2)従動節の長さが短い方が負の最大角加速度が減少する。(3)行きと戻りの両行程のカムの回転角を等しくした場合 $R_0 + r$ が大きい程 l が短くなり、負の最大角加速度が正のそれに近づく。(4)最大押進め角は $R_0 + r$ によって非常に影響されるので、設計上注意する必要がある。(5)円弧従動節の滑り率は接触の両端附近が特に大きいので問題がある。(6)カムの滑り率は円弧の挿入により2以下となり問題はない。

(B) 平板従動節の場合 (1)揺動角を指定すれば両行程のカムの回転角は定まる。(2) $R_0 + f$ の値を適当にとることによって戻り行程の正の最大角加速度を低くすることができる。(3)第1円弧の挿入の効果は殆んどなく、円弧がない方がよい。(4)オフセット量を大きくすると最大押進め角が大きくなるので注意が必要である。

文 献

- 1) 糸島寛典：円弧インボリュート接合カムの研究(第1報)，一往復従動節一，呉高専研究報告，16-1，1980
- 2) 糸島寛典，福永恭一：インボリュート接合カムの研究(第2報)，一揺動従動節一，呉高専研究報告，15-2，1980

(昭和55年10月15日受付)

円弧楕円接合カムの研究 (第2報)

——揺動従動節——

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Connective Ellipses and Circular Arcs Cam (2nd Report)

—Oscillating Follower—

Hironori ITOSHIMA

This cam has a profile consisting of the three elliptic curves and the two circular arcs. The motion of the reciprocating follower with a circular arc had been analysed in the 1st report.

In this paper, the angular motion of the oscillating follower with a circular arc or with a flat plate is analysed. The maximum angular acceleration of the follower, the pressure angle and the specific sliding of the cam are discussed. The two circular arcs of a cam profile decrease the maximum angular acceleration.

§ 1 緒 言

前報¹⁾に示された円弧楕円接合カムを用いて円弧または平板をもつ揺動従動節を駆動した場合の揺動節の運動および押進め角、カムの滑り率を調べ、従動節の角加速度が両停留カムの場合始点と終点で零となり、円弧の挿入により角加速度曲線の山を平らにし、最大角加速度を低くし且つ正負の最大角加速度を等しくする。

最大押進め角は 30° 以下に、カムの滑り率は6以下におさえて基礎円をできるだけ小さくして高速カムとして最適なカムの設計を行う。

§ 2 記 号

a : 楕円の長半径	ω : カムの角速度
b : 楕円の短半径	r : 従動節の円弧半径
Σ : カムの作用角	l : 従動節の長さ
α, β, γ : 第1, 2, 3楕円の作用角	f : 平板従動節のオフセット量
τ_1, τ_2 : 第1, 2円弧の作用角	ϕ : 押進め角
θ : カムの回転角	e : カムのパラメーター
θ_o, θ_r : 往きと戻り行程のカムの回転角	δ : 楕円表示のパラメーター
θ_d, θ_e : 上昇点と下降点の停留角	R_0 : カムの基礎円半径

$$x_B = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 + b^2 \tan^2 \delta_2}} \quad , \quad y_B = \frac{b^2 \tan \delta_2}{\sqrt{a^2 + b^2 \tan^2 \delta_2}} \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$x_P = \frac{a^2 - b^2}{a^4} x_B^3 \quad , \quad y_P = -\frac{a^2 - b^2}{b^4} y_B^3 \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$\rho_B = a^2 b^2 \left\{ \frac{1 + \tan^2 \delta_2}{a^2 + b^2 \tan^2 \delta_2} \right\}^{\frac{3}{2}} \quad \dots \dots \dots (9)$$

よって第1円弧BC上の点Tのxy座標は次式のようになる。

$$x_T = \rho_B \cos(\delta_1 + \epsilon) + x_P \quad , \quad y_T = \rho_B \sin(\delta_1 + \epsilon) + y_P \quad \dots \dots \dots (10)$$

3.3 第2楕円CD ($\alpha + \tau_1 \leq \epsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta$)

第2楕円の場合 $\angle BPC$ の2等分線 PZ_1 を軸としたxy座標の対称座標 $x'y'$ 座標を考え、CD上の点Tの法線が x' 軸の交角を δ' とすれば

$$\delta' = \delta_2 + \alpha + \tau_1 - \epsilon \quad \dots \dots \dots (11)$$

となるので、 δ' を式(2)~(4)の δ に代入し、 x_T, y_T を x_T', y_T' とし、 $x'y'$ 座標を次式によりxy座標に変換する。

$$\left. \begin{aligned} x &= m + (x' - m) \cos(2\delta_2 + \tau_1) + y' \sin(2\delta_2 + \tau_1) \\ y &= (x' - m) \sin(2\delta_2 + \tau_1) - y' \cos(2\delta_2 + \tau_1) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{ただし } m = x_P - y_P / \tan\left(\delta_2 + \frac{\tau_1}{2}\right) \quad \dots \dots \dots (13)$$

縮閉線を示す x_Q', y_Q' も式(12), (13)によりxy座標に変換される。

3.4 第2円弧DE ($\alpha + \tau_1 + \beta \leq \epsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2$)

図1においてD点の法線が x' 軸となす角を δ_4 とすれば

$$\delta_4 = \delta_1 + \alpha - \beta \quad \dots \dots \dots (14)$$

となるので、 δ_4 を式(7), (9)の δ_2 に代入すれば x_B, y_B は x_D', y_D' を、 x_P, y_P は x_C', y_C' を、 ρ_B は ρ_D を表わす。円弧DE上の点Tの法線が x' 軸との交角を δ' とすれば

$$\delta' = \delta_4 + \alpha + \tau_1 + \beta - \epsilon \quad \dots \dots \dots (15)$$

となり、円弧DE上の点Tのxy座標 x_T', y_T' は

$$x_T' = \rho_D \cos \delta' + x_C' \quad , \quad y_T' = \rho_D \sin \delta' + y_C' \quad \dots \dots \dots (16)$$

となるので、 x_T', y_T' を x_T, y_T 座標に変換するには式(12), (13)を用うればよい。

3.5 第3楕円EF ($\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 \leq \epsilon \leq \Sigma$)

図1において $\angle DGE$ の2等分線 GZ_2 を対称軸として x', y' 軸の対称軸 x'', y'' 軸を作り、第3楕円上のT点の法線が x'' 軸の交角を δ'' とすれば

$$\delta'' = \delta_1 + \epsilon - 2\beta - (\tau_1 + \tau_2) \quad \dots \dots \dots (17)$$

となるので、 δ'' の値を式(2), (3)の δ に代入すれば x_T'', y_T'' は求まる。 x_T'', y_T'' を x_T', y_T' に座標変換するには次式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} x' &= n - (n - x'') \cos(2\delta_4 - \tau_2) + y'' \sin(2\delta_4 - \tau_2) \\ y' &= -(n - x'') \sin(2\delta_4 - \tau_2) - y'' \cos(2\delta_4 - \tau_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

ただし $n = x_{G'} - y_{G'} / \tan\left(\delta_4 - \frac{\tau_2}{2}\right) \dots\dots\dots (19)$

$x'y'$ 座標を xy 座標に変換するには式(12), (13)を使用すればよい。終点 F の曲率半径 ρ_F は

$$\delta_5 = \delta_1 + \alpha - \beta + \gamma \dots\dots\dots (20)$$

を式(8)の δ に代入すれば求められる。

3.6 xy 座標の XY 座標への変換

以上により得られたカムの輪郭の x_T, y_T 座標をカム上に固定された XY 座標に変換するには次式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} X_T &= g - (c - x_T) \cos \delta_1 + y_T \sin \delta_1 \\ Y_T &= (c - x_T) \sin \delta_1 + y_T \cos \delta_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (21)$$

ただし $c = \frac{a^2 - b^2}{\sqrt{a^2 + b^2 \tan^2 \delta_1}}, \quad g = R_0 - \frac{b^2 \sec \delta_1}{\sqrt{a^2 + b^2 \tan^2 \delta_1}} \dots\dots\dots (22)$

3.7 上昇点の停留角円弧 FF' ($\Sigma \leq \epsilon \leq \Sigma + \theta_d$)

上昇点の停留角円弧上の T 点の XY 座標は次式のようなになる。

$$X_T = \rho_F \cos \epsilon, \quad Y_T = \rho_F \sin \epsilon \dots\dots\dots (23)$$

3.8 戻り行程のカムの輪郭 $F'A'$ ($\Sigma + \theta_d \leq \epsilon \leq 2\Sigma + \theta_d$)

前報¹⁾と同様に図2より

$$\theta_e = 360^\circ - 2\Sigma - \theta_d \dots\dots\dots (24)$$

$$\epsilon = 2\Sigma + \theta_d - \epsilon', \quad \epsilon' = 2\Sigma + \theta_d - \epsilon \dots\dots\dots (25), (26)$$

$$X_{T'} = X_T \cos \theta_e - Y_T \sin \theta_e, \quad Y_{T'} = -X_T \sin \theta_e - Y_T \cos \theta_e \dots\dots (27)$$

となるので、この $X_{T'}, Y_{T'}$ を X_T, Y_T とすればよい。

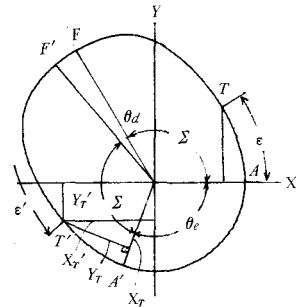


図2 戻り行程のカムの輪郭

3.9 下降点の停留角円弧 AA' ($2\Sigma + \theta_d \leq \epsilon \leq 360^\circ$)

図2において次式のようなになる。

$$X_T = R_0 \cos \epsilon, \quad Y_T = R_0 \sin \epsilon \dots\dots\dots (28)$$

§ 4 揺動角 Ψ の指定

往復従動節の場合はカムの高さ l を基準としたが揺動従動節の場合は軸間距離 $d = 1$ として基準にとり、揺動角 Ψ を指定した値にして、その運動を調べなければならぬ。

図3により揺動角 Ψ は次式となる。

$$\Psi = \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (R_0 + t + r)^2}{2dl} - \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (R_0 + r)^2}{2dl} \dots\dots\dots (29)$$

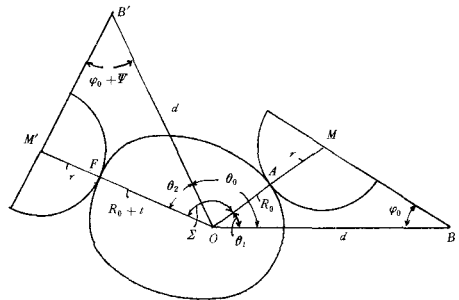


図3 始点と終点の接触

この式を変形して d を求めれば前報²⁾から次式のようになる。

$$d^2 = \frac{(1 + \lambda^2)(A^2 + B^2)(1 - \cos \Psi) - \sqrt{D}}{2(1 - \cos \Psi)\{(1 + \lambda^2)^2 - 2\lambda^2(1 + \cos \Psi)\}\{A^4 + B^4 - 2A^2B^2 \cos \Psi\}} \dots\dots\dots (30)$$

$$D = \{(1 + \lambda^2)(A^2 + B^2)(1 - \cos \Psi)\}^2 - 2(1 - \cos \Psi)\{(1 + \lambda^2)^2 - 2\lambda^2(1 + \cos \Psi)\}\{A^4 + B^4 - 2A^2B^2 \cos \Psi\}$$

ただし $A = R_0 + t + r$, $B = R_0 + r$, $\lambda = l/d$

前報¹⁾の表1の例2の場合 $\Psi = 20^\circ$, $d = 1$, $\lambda = 0.7, 0.6$, $r = 1 \sim 2$ の各場合を式(30)に代入して d を求め、与えられた各 a, b, R_0, t, r を d で割った値を表1-1に $\lambda = 0.8, 0.5$ の場合を表1-2に示す。

表1-1 $\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 30^\circ$, $r = 24.6517^\circ$, $\tau_1 = 25^\circ$, $\tau_2 = 20.3483^\circ$, $a = 2.29234$,
 $b = 1.14617$, $R_0 = 1.35959$, $t = 1$

	$\Psi = 20^\circ, \lambda = 0.7, d = 1, l = 0.7$				$\Psi = 20^\circ, \lambda = 0.6, d = 1, l = 0.6$			
r	0.5	1	1.5	2	1.5	2	2.5	3
a	0.52919	0.55672	0.55327	0.54053	0.46391	0.47767	0.47241	0.46078
b	0.26459	0.27836	0.27663	0.27027	0.23195	0.23883	0.23621	0.23039
R_0	0.31386	0.33019	0.32814	0.32059	0.27515	0.28330	0.28019	0.27329
t	0.23085	0.24286	0.24135	0.23580	0.20237	0.20838	0.20608	0.20101
r	0.11543	0.24286	0.36203	0.47160	0.30356	0.41675	0.51521	0.60302
例	2	1		3	4	5	6	

表1-2 $\Psi = 20^\circ, \lambda = 0.8, d = 1, l = 0.8$ | $\Psi = 20^\circ, \lambda = 0.5, d = 1, l = 0.5$

r	0.3	0.5	1	3	3.5	4	3.2
a	0.63675	0.63613	0.62541	0.39739	0.39571	0.38744	0.39801
b	0.31838	0.31807	0.31271	0.19870	0.19786	0.19372	0.19900
R_0	0.37766	0.37729	0.37093	0.23569	0.23470	0.22979	0.23606
t	0.27777	0.27750	0.27283	0.17336	0.17262	0.16902	0.17362
r	0.08333	0.13875	0.27283	0.52007	0.60419	0.67607	0.55560
例	8	7	9	10	11	12	13

§ 5 カムの往き行程と戻り行程のカムの回転角

前報²⁾に示されるように従動節の円弧の中心を M とし、円弧がカムの始点 A と終点 F に接する時の OM が固定リンク OB となす角を θ_1, θ_2 とすれば

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{(R_0 + r)^2 + d^2 - l^2}{2d(R_0 + r)}, \quad \theta_2 = \cos^{-1} \frac{(R_0 + t + r)^2 + d^2 - l^2}{2d(R_0 + t + r)} \dots\dots\dots (31), (32)$$

となり、往きと戻り行程のカムの回転角を θ_o, θ_r とすれば

$$\theta_o = \Sigma + \theta_1 - \theta_2, \quad \theta_r = \Sigma - (\theta_1 - \theta_2) \dots\dots\dots (33), (34)$$

となり、カムが内側回転の場合 $R_0 + r$ が大きい程 θ_o が θ_r より大となる。

5.1 行きと戻り行程のカムの回転角が等しい場合 $\theta_o = \theta_r$

式(33), (34)より $\theta_o = \theta_r$ するためには $\theta_1 = \theta_2$ であればよいので, 式(31), (32)の右辺を等しいとおけば前報²⁾と同様に

$$d = \sqrt{\left(\frac{t}{2} \cdot \cot \frac{\Psi}{2}\right)^2 + \left(R_0 + r + \frac{t}{2}\right)^2} \dots\dots\dots (35)$$

$$l = \frac{t}{2} / \sin \frac{\Psi}{2} \dots\dots\dots (36)$$

表2-1 第1報表1の例1 $a/b=1.5, \Sigma=120^\circ, \alpha=20^\circ, \beta=30^\circ, r=24.6475^\circ, \tau_1=25^\circ,$
 $\tau_2=20.3525^\circ, a=7.82441, b=5.21627, R_0=4.02139, t=1$
 $\theta_1 = \theta_r, \Psi=20^\circ, d=1$

r	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4
a	1.35682	1.26058	1.17560	1.10029	1.03328	0.97341	0.87124
b	0.90455	0.84039	0.78373	0.73353	0.68886	0.64894	0.58082
R ₀	0.69734	0.64788	0.60421	0.56550	0.53106	0.50029	0.44778
t	0.17341	0.16111	0.15025	0.14062	0.13206	0.12441	0.11135
r	0.08670	0.16111	0.22537	0.28125	0.33015	0.37322	0.44778
l	0.49931	0.46389	0.43262	0.40491	0.38025	0.35821	0.32062
例	A		B		C		D

表2-2 第1報表1の例2 $a/b=2, \Sigma=120^\circ, \alpha=20^\circ, \beta=30^\circ, r=24.6517^\circ, \tau_1=25^\circ,$
 $\tau_2=20.3483^\circ, a=2.29234, b=1.14612, R_0=1.35959, t=1$
 $\theta_0 = \theta_r, \Psi=20^\circ, d=1$

r	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
a	0.62140	0.56922	0.52142	0.47864	0.44078	0.40743	0.37806
b	0.31069	0.28460	0.26070	0.23931	0.22038	0.20371	0.18903
R ₀	0.36856	0.33760	0.30926	0.28388	0.26143	0.24164	0.22423
t	0.27108	0.24831	0.22746	0.20880	0.19228	0.17773	0.16492
r	0.13554	0.24831	0.34119	0.41760	0.48071	0.53320	0.57722
l	0.78054	0.71499	0.65495	0.60121	0.55366	0.51176	0.47487

表2-3 第1報表1の例3 $a/b=2.5, \Sigma=120^\circ, \alpha=20^\circ, \beta=30^\circ, r=24.1375^\circ, \tau_1=25^\circ,$
 $\tau_2=20.8625^\circ, a=1.07311, b=0.42924, R_0=0.88908, t=1$
 $\theta_0 = \theta_r, \Psi=20^\circ, d=1$

r	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
a	0.28941	0.26509	0.24285	0.22296	0.20536	0.18987	0.17622
b	0.11577	0.10603	0.09714	0.08918	0.08215	0.07595	0.07049
R ₀	0.23978	0.21963	0.20120	0.18472	0.17015	0.15731	0.14600
t	0.26969	0.24703	0.22630	0.20777	0.19137	0.17932	0.16422
r	0.26969	0.37054	0.45260	0.51942	0.57412	0.61926	0.65686
l	0.77655	0.71128	0.65161	0.59824	0.55104	0.50946	0.47284

$$\frac{d\xi_M}{d\theta} = \frac{dX_M}{d\theta} \cos(\theta_1 - \theta) - \frac{dY_M}{d\theta} \sin(\theta_1 - \theta) + \eta_M \quad \dots\dots\dots (48)$$

$$\frac{d\eta_M}{d\theta} = \frac{dX_M}{d\theta} \sin(\theta_1 - \theta) + \frac{dY_M}{d\theta} \cos(\theta_1 - \theta) - \xi_M \quad \dots\dots\dots (49)$$

となる。式(41), (42)を θ で微分すれば

$$\frac{dX_M}{d\theta} = \frac{dX_T}{d\theta} - r \sin \epsilon \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \frac{dY_T}{d\theta} + r \cos \epsilon \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (50)$$

となる。式(21)を θ で微分すれば

$$\frac{dX_T}{d\theta} = \frac{dx_T}{d\theta} \cos \delta_1 + \frac{dy_T}{d\theta} \sin \delta_1, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = -\frac{dx_T}{d\theta} \sin \delta_1 + \frac{dy_T}{d\theta} \cos \delta_1 \quad \dots\dots\dots (51)$$

となる。前報¹⁾より第1, 第2, 第3 楕円および第1, 第2 円弧において

$$\frac{dx_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \delta \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = \rho_T \cos \delta \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (52)$$

が成立するので、これを式(51), (50), (48), (49)に代入すれば次式が得られる。

$$\frac{d\xi_M}{d\theta} = -(\rho_T + r) \sin \Theta \frac{d\epsilon}{d\theta} + \eta_M, \quad \frac{d\eta_M}{d\theta} = (\rho_T + r) \cos \Theta \frac{d\epsilon}{d\theta} - \xi_M \quad \dots\dots\dots (53)$$

$$\text{ただし } \Theta = \epsilon + \theta_1 - \theta \quad \dots\dots\dots (54)$$

式(53)を式(47)に代入して整理すれば

$$\frac{d\epsilon}{d\theta} = \frac{d \times \eta_M}{(\rho_T + r) \{ (d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta \}} \quad \dots\dots\dots (55)$$

が得られ、また式(47)より角速度係数 $d\varphi/d\theta$ は次式のようなになる。

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{\eta_M \cos \Theta - \xi_M \sin \Theta}{(d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta} \quad \dots\dots\dots (56)$$

また別に図4のP点は瞬間中心 I_{12} だから $OP \times d\theta/dt = PB \times d\varphi/dt$ となり、これから

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{OP}{PB} = \frac{OP \sin \Theta}{(d + OP) \sin \Theta} = \frac{\eta_M \cos \Theta - \xi_M \sin \Theta}{(d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta} \quad \dots\dots\dots (57)$$

が得られる。角加速度係数は式(56)を θ で微分すれば次式のようなになる。

$$\frac{d^2\varphi}{d\theta^2} = d \times \frac{\{ (d - \xi_M) \cos \Theta - \eta_M \sin \Theta \} \sin \Theta \frac{d\varphi}{d\theta} - \eta_M \left(\frac{d\epsilon}{d\theta} - 1 \right)}{\{ (d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta \}^2} \quad \dots\dots\dots (58)$$

§7 押進め角と滑り率

図4において接触点Tの法線とM点の運動方向のなす角 ϕ が押進め角となり、 ϕ は40°以下が望ましい

$$\phi = \Theta + \varphi + \varphi_0 - 90^\circ \quad \dots\dots\dots (59)$$

カムと従動節の滑り率を σ_1, σ_2 とすれば前報²⁾から

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{\overline{TP}}{r + \overline{TP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad \dots\dots\dots (60)$$

$$\overline{TP} = \eta_M / \sin \Theta - r \quad \dots\dots\dots (61)$$

となるので、 σ_1, σ_2 は計算される。

§ 8 計算例（円弧従動節）

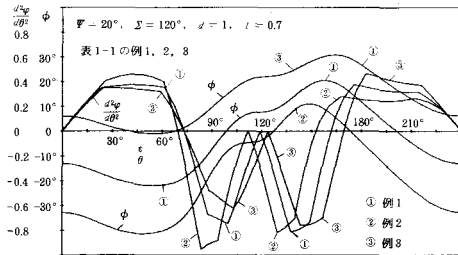
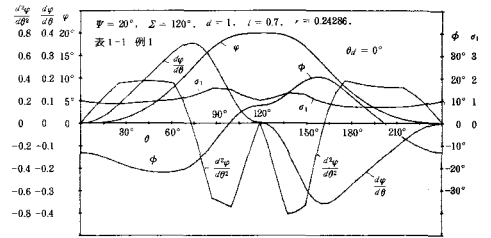
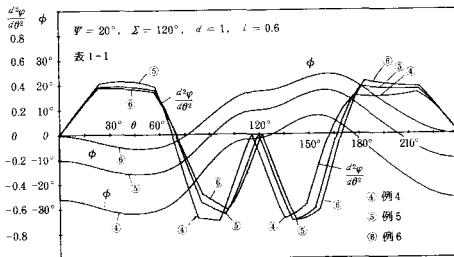
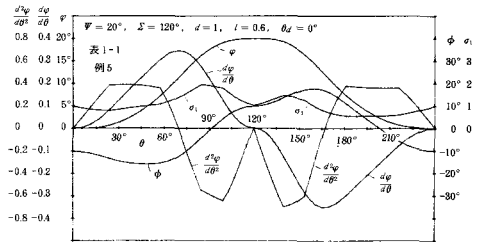
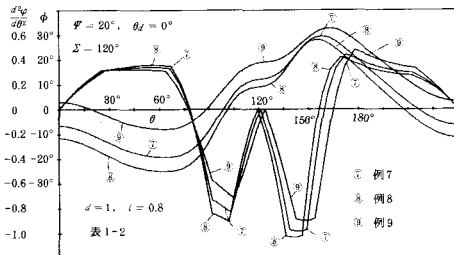
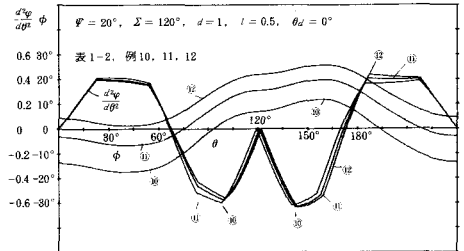
図5は $\Sigma=120^\circ$, $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $l=0.7$ の表1-1の例1, 2, 3のデータによる押進め角 ϕ を ε を横軸に $d^2\phi/d\theta^2$ を θ を横軸に示したもので、 ϕ_{\max} は例1, 2, 3の場合それぞれ $\pm 21^\circ$, -41° , $+30^\circ$ なので例1がよい。 $d^2\phi/d\theta^2$ については例1, 3がよい。すなわち R_0 , r が共に大きい方がよい。

図6は例1の場合の運動と ϕ , σ_1 を示す。 σ_1 は2以下で、負の $d^2\phi/d\theta^2_{\max}$ が正に比しやや大きい。

図7は $l=0.6$ の表1-1の例4, 5, 6のデータによる ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$ を示す。例5が良好で、図8は例5の運動と ϕ と σ_1 を示す。 $\sigma_{1\max} \div 2$ である。

図9は $l=0.8$ の表1-2の例7, 8, 9の ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$ を示す。 ϕ は余り変らないが、負の $d^2\phi/d\theta^2$ が非常に大きくよくない。 l は小さい方がよい。

図10は $l=0.5$ の表1-2の例10, 11, 12の ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$ を示す。 ϕ , $d^2\phi/d\theta^2$ 共に良好であるが例10, 11の間がよいので、図11に例13の場合の運動と ϕ , σ_1 を示す。 $\sigma_{1\max} \div 2.5$ となるがカムも小

図5 表1-1の例1, 2, 3, $l=0.7$ の ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$ 図6 表1-1の例1の運動と ϕ , σ_1 図7 表1-1の例4, 5, 6, $l=0.6$ の ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$ 図8 表1-1の例5の運動と ϕ , σ_1 図9 表1-2の例7, 8, 9, $l=0.8$ の ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$ 図10 表1-2の例10, 11, 12, $l=0.5$ の ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$

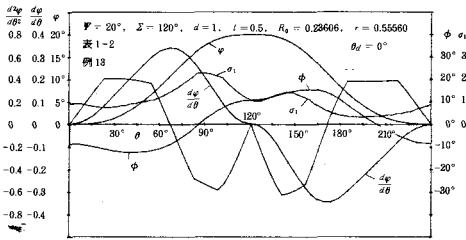


図11 表1-2の例13の運動と ϕ, σ_1

く良好である。

図12は表1の例1, 5, 7, 13のカム全輪郭を示す。ただし $\theta_d = 80^\circ$ としてある。例13のカムの輪郭が最小で良好である。

図13は例13の図11の従動節上の滑り率 σ_2 を示す。出発点Sから①②③④の矢標のように接触が移動する。両端と内側の4ヶ所で $\sigma_2 = \infty$ となる。

8.1 $\theta_o = \theta_r$ の場合

図14は表2-1の例A, B, Cのデータによる ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$ を θ を横軸に示す。いずれも良好であるが、 r が大きく、 l が小さい例Cの場合が押進め角 ϕ についても、負の $d^2\phi/d\theta^2$ についても良いので、更に r が大きく l が短い例Dの場合の運動と ϕ, σ_1 を図15に示す。 $\phi, d^2\phi/d\theta^2$ は共に良好である。 $\sigma_{1\max} \div 1.2$ で低い。

ローラを用いない高速カムの場合円弧従動節にするが、その場合の従動節の滑り率を円弧上の位置 $s = r \cdot \phi$ について例Dの場合求めたのが図16である。接触の両端では $\sigma_2 = \infty$ であるが、その付近で σ_2 はかなり高い値をもつ。中央では平均約3.5で低い。両端でかなり高い値をもつことに問題があるので、ローラが望ましい。

図17は表2-1の例A, B, Cのデータによるカム全輪郭を示す。例Dが最も小形で十分滑らかである。

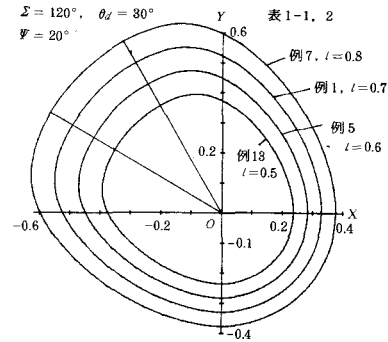


図12 表1の例7, 1, 5, 13のカムの全輪郭, $\theta_d = 80^\circ$

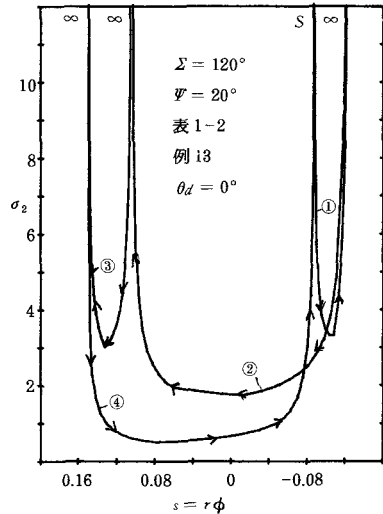


図13 表1-2の例13の σ_2

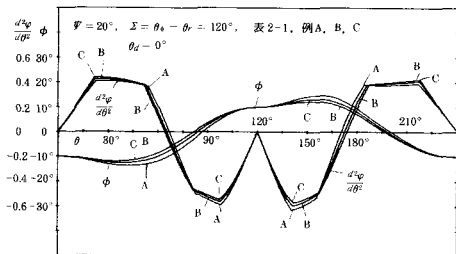


図14 表2-1の例A, B, C ($\theta_o = \theta_r$) の ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$

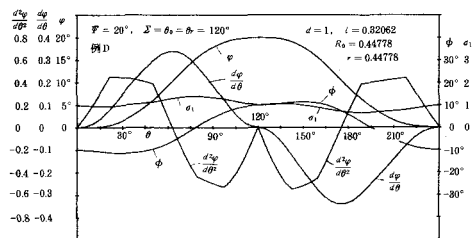


図15 表2-1の例D ($\theta_o = \theta_r$) の運動と ϕ, σ_1

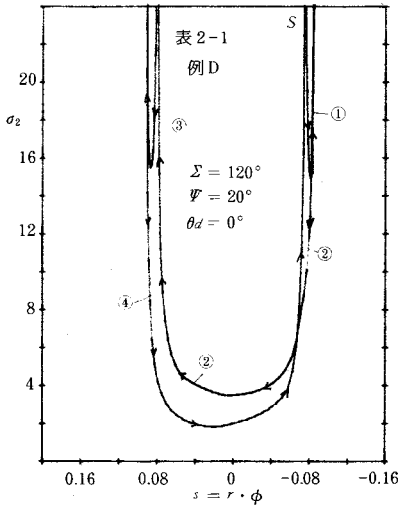


図16 表2-1の例Dの σ_z

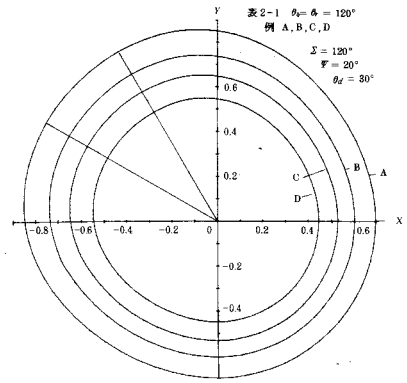


図17 表2-1の例A, B, C, Dのカム全輪郭, $\theta_d = 30^\circ$

表2-2, 表2-3については省略した。

§ 9 平板従動節の場合

前報²⁾と図18より平板のオフセット量を f とすれば

$$\varphi_0 = \sin^{-1}(R_0 + f) / d \dots\dots\dots (62)$$

$$\Psi = \sin^{-1} \frac{R_0 + f + t}{d} - \sin^{-1} \frac{R_0 + f}{d} \dots\dots (63)$$

となる。式(63)から Ψ を指定した場合の d は

$$d = \frac{1}{\sin \Psi} \sqrt{(R_0 + f)^2 + (R_0 + f + t)^2 - 2(R_0 + f)(R_0 + t + f) \cos \Psi} \dots\dots\dots (64)$$

となるので、前報¹⁾の表1の $t=1$ に対する R_0 , f と Ψ を指定して d を求め、 $d=1$ となるように a , b , R_0 , f , t , ϵ を定めればよい。表3-1, 2, 3は前報¹⁾の表1の例1, 2, 3のデータを式(64)に代入して求めたものである。

表3-1 前報の表1の例1, $a/b=1.5$, $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $\beta=30^\circ$, $r=24.64749^\circ$, $\tau_1=25^\circ$, $\tau_2=20.35251^\circ$, $a=7.82441$, $b=5.21627$, $R_0=4.02139$, $t=1$, $\Psi=20^\circ$, $d=1$

f	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5
a	1.56597	1.44379	1.33620	1.24143	1.15774	1.08358	1.01758
b	1.04398	0.96253	0.89080	0.82762	0.77183	0.72238	0.67839
R_0	0.80484	0.74204	0.68675	0.63804	0.59503	0.55691	0.52299
t	0.20014	0.18452	0.17077	0.15866	0.14797	0.13849	0.13005
f	-1.0007	0	0.08539	0.15866	0.22195	0.27697	0.32513
例		A0	A1	A2		A3	

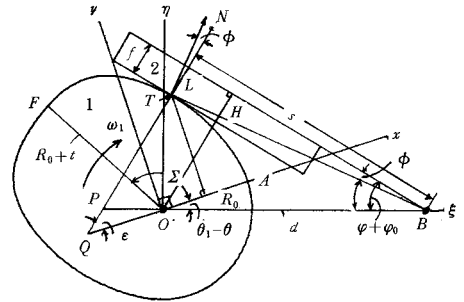


図18 揺動平板従動節

表3-2 前報の表1の例2, $a/b=2, \Sigma=120^\circ, \alpha=20^\circ, \beta=30^\circ, \gamma=24.65166^\circ, \tau_1=25^\circ,$
 $\tau_2=20.3484^\circ, a=2.29234, b=1.14617, R_0=1.35959, t=1$
 $\Psi=20^\circ, d=1$

f	- 0.4	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
a	0.70784	0.66574	0.64414	0.62262	0.60141	0.58068	0.56057
b	0.35391	0.33285	0.32206	0.31130	0.30069	0.29033	0.28029
R_0	0.41983	0.39485	0.38204	0.36928	0.35670	0.34440	0.33248
t	0.30879	0.29042	0.28100	0.27161	0.26236	0.25331	0.24454
f	-0.12352	0	0.05620	0.10864	0.15741	0.20265	0.24454
例	B 1	B 0		B 2		B 3	B 4

表3-3 前報の表1の例3, $a/b=2.5, \Sigma=120^\circ, \alpha=20^\circ, \beta=30^\circ, \gamma=24.13750^\circ, \tau_1=25^\circ,$
 $\tau_2=20.8625^\circ, a=1.07311, b=0.42924, R_0=0.88908, t=1$
 $\Psi=20^\circ, d=1$

f	- 0.4	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
a	0.35190	0.33469	0.32512	0.31520	0.30511	0.29501	0.28501
b	0.14076	0.13388	0.13005	0.12608	0.12204	0.11800	0.11401
R_0	0.29155	0.27729	0.26936	0.26114	0.25278	0.24442	0.23614
t	0.32792	0.31189	0.30297	0.29372	0.28432	0.27491	0.26560
f	-0.13117	0	0.06059	0.11749	0.17059	0.21993	0.26560
例	C 1	C 0		C 2			C 3

9.1 往きと戻り行程のカムの回転角

図18において接触点Tが始点Aと終点Fにあるときの法線とOBのなす角を θ_1, θ_2 とすれば

$$\theta_1 = 90^\circ - \varphi_0, \quad \theta_2 = 90^\circ - (\Psi + \varphi_0), \quad \theta_1 - \theta_2 = \Psi \dots\dots\dots (65)$$

となるので、往きと戻り行程のカムの回転角 θ_o, θ_r は

$$\theta_o = \Sigma + \Psi, \quad \theta_r = \Sigma - \Psi \dots\dots\dots (66)$$

となる。カムが内側に回転すれば θ_r が θ_o より小となる。すなわち早戻り運動をする。

§10 平板揺動従動節の運動

前報²⁾と同様に図18において次式が得られる。

$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{X_T \cos \epsilon + Y_T \sin \epsilon + f}{d} \right) - \varphi_0 \dots\dots\dots (67)$$

$$s = d \cos(\varphi + \varphi_0) + Y_T \cos \epsilon - X_T \sin \epsilon \dots\dots\dots (68)$$

図18から $\epsilon + \theta_1 - \theta = 90^\circ - (\varphi + \varphi_0)$ と式(65)から

$$\theta = \epsilon + \varphi \dots\dots\dots (69)$$

が得られる。式(67)を θ で微分し、 $d\epsilon/d\theta = 1 - d\varphi/d\theta$ を代入すれば

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{1}{s} (Y_T \cos - X_T \sin \epsilon) = \frac{1}{s} (s - d \cos(\varphi + \varphi_0)) \dots\dots\dots (70)$$

となる。図18のP点は瞬間中心 I_{12} だから

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{OP}{BP} = \frac{OP}{d+OP} = \frac{LH}{BL} = \frac{s-BH}{s}$$

となり、これから式(70)が得られる。

式(70)を θ で微分すれば前報²⁾より角加速度係数は

$$\frac{d^2\varphi}{d\theta^2} = \frac{1}{s} \left[\{ \rho_T + f - d \sin(\varphi + \varphi_0) \} \left(1 - \frac{d\varphi}{d\theta} \right)^2 + d \sin(\varphi + \varphi_0) \left(\frac{d\varphi}{d\theta} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (71)$$

となる。これには式(52)を式(51)に代入した次式を用いる。

$$\frac{dX_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \rho_T \cos \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta} \dots\dots\dots (72)$$

10.1 平板従動節の押進め角と滑り率

図18より押進め角 ϕ は $\angle TBL$ に等しいので

$$\phi = \tan^{-1} (f/s) \dots\dots\dots (73)$$

となり、カムと平板従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は前報²⁾より

$$\sigma_1 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T}, \quad \sigma_2 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \dots\dots\dots (74), (75)$$

$$\overline{TP} = \frac{d \sin(\varphi + \varphi_0)}{1 - d\varphi/d\theta} - f \dots\dots\dots (76)$$

となる。 ρ_T は式(3)により求まるので σ_1, σ_2 は求まる。

§ 11. 平板従動節の計算例

図19は $\Psi = 20^\circ, \Sigma = 120^\circ$ の表3-1の例A0~A3のデータの場合の ϕ と $d^2\varphi/d\theta^2$ を θ を横軸に示す。 $\phi_{\max} < 30^\circ$ のためには $f < 0.15$ となり、 $\theta_o = 140^\circ, \theta_r = 100^\circ$ で戻り行程の正の $d^2\varphi/d\theta^2$ の値が約1.2で大きく、第1円弧挿入の効果が少なく、前報²⁾の第1円弧のない場合の方がよい。

図20は表3-2の例B1~B4のデータによる ϕ と $d^2\varphi/d\theta^2$ を示す。 $\phi_{\max} < 30^\circ$ のためには $f < 0.24$ となり前の場合より幾分大きくとれるが $d^2\varphi/d\theta^2_{\max}$ が少し大となる。

図21は表3-3の例C0~C3のデータによる $\phi, d^2\varphi/d\theta^2$ を示す。 $d^2\varphi/d\theta^2$ は f により余り変わらず、表3-1, 2の場合とも変わらず、第1円弧挿入の効果が無い。

図22は表3-2の例B0の場合の運動を θ で、 σ_1 と ρ_T を ε で示す。 $\sigma_{1\max} \doteq 2.8$ で余り大きくない。

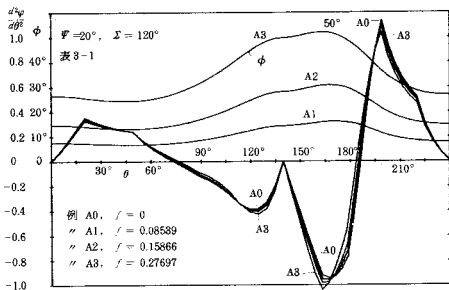


図19 表3-1の例A0, A1, A2, A3の ϕ と $d^2\varphi/d\theta^2$

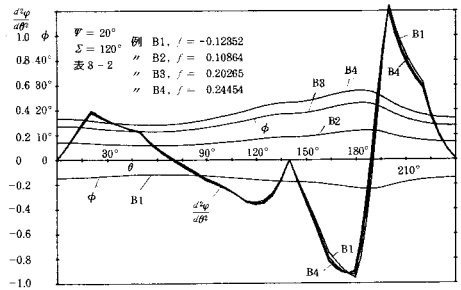


図20 表3-2の例B1, B2, B3, B4の ϕ と $d^2\varphi/d\theta^2$

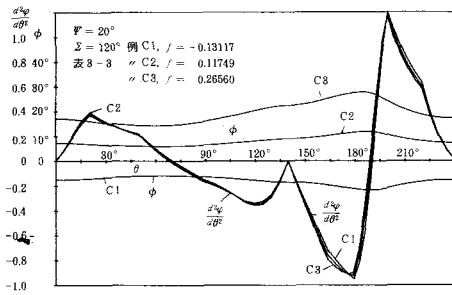


図21 表3-8の例C1, C2, C3の ϕ と $d^2\phi/d\theta^2$

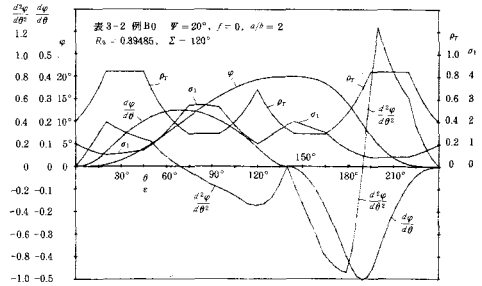


図22 表3-2の例B0の運動と ρ_r, σ_1

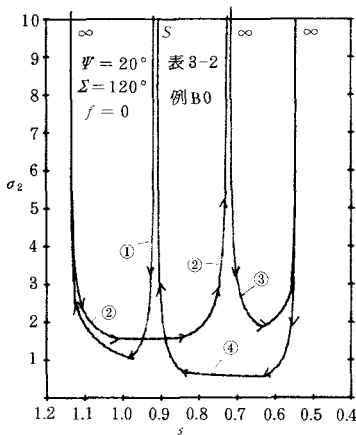


図23 表3-2の例B0の σ_2

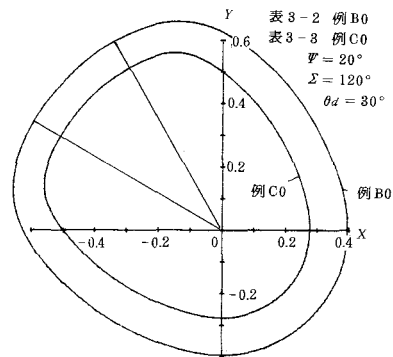


図24 例B0, C0のカムの全輪郭

図23はこの場合の σ_2 を平板上の s で示したもので、接触の両端と中央2ヶ所に $\sigma_2 = \infty$ となるがほぼ均等配分である。

図24は表3の例B0, C0のカムの全輪郭を $\theta_d = 30^\circ$ の場合について描いたもので形が滑らかである。

§ 12. 結 論

以上により円弧(ローラ)あるいは平板をもつ揺動従動節に対する円弧楕円接合カムの運動を解析し、次の結論が得られた。ただし作用角 $\Sigma = 120^\circ$ 、揺動角 $\Psi = 20^\circ$ は前報²⁾と同様にとった。

(A) 円弧従動節の場合 (1) 行きと戻りの両行程のカムの回転角は等しくできるが、等しい方が角加速度上有利である。(2) 従動節の長さは短い方が最大角加速度が減少できるので有利であるが普通 $l/d \doteq 0.5$, $\theta_o = \theta_r$ では $l/d = 0.3$ 位まで利用でき正負の最大角加速度を等しくできる。(3) 第1, 第2円弧をカムの輪郭に挿入することにより前報²⁾の円弧のない場合に比し $d^2\phi/d\theta^2_{max}$ を0.8から0.6にすることができた。(4) 最大押進め角は円弧半径にかなり影響されるので選定に注意が必要である。(5) $\theta_o = \theta_r$ の場合は押進め角は従動節の円弧半径による影響は小さく良好である。(6) カムの滑り率は円弧のため低く問題ないが、従動節の滑り率は接触の両端付近ではかなり高い値である。

(B) 平板従動節の場合 (1) 戻り行程の正の最大角加速度は前報²⁾の円弧のない場合に比して余り変わらず、第1円弧の挿入の効果はないが、第2円弧の効果は若干存在する。(2) オフセット量を大きくしても最大角加速度は特に小さくならず、むしろ押進め角が大きくなり過ぎる危険がある。(3) カムの滑り率は最大3位となるので問題はない。従動節の滑り率は接触の両端と途中2ヶ所で $\sigma_2 = \infty$ となるが均等

配分のため良好である。

文 献

- 1) 糸島寛典：円弧楕円接合カムの研究（第1報），一往復従動節—，呉高専研究報告，16-1，1980
- 2) 糸島寛典，福永恭一：楕円接合カムの研究（第2報），一揺動従動節—，呉高専研究報告，15-2，1980

（昭和55年10月15日受付）

直接グレアによる目の疲労の研究

(電気工学科) 原 田 一 彦

Studies of Visual Fatigue by Direct Glare

Kazuhiko HARADA

When the light sources become too bright they produce direct glare. Depending on the magnitude of luminance, glare sources become uncomfortable and eventually produce visual fatigue.

In this paper, we studied visual fatigue by direct glare with flicker value when four make subjects, varying in age from 16 to 17 years, read *the Concise English Japanese Dictionary* for 30 minutes at 1000 lx.

The following results were obtained;

- (1) The lowering of flicker value was 12.57%~14.68% under incandescent lamp lighting, and 6.07%~ 10.31% under fluorescent lamp lighting.
- (2) With general lighting, the lowering of flicker value was 1.02%~ 2.11% less than local lighting only.

§ 1 結 言


視野内に極めて高い輝度をもつものがあつたり、輝度比の強いものとグレアを生じ、不快感を起す照明となる。このグレアは光源による、しかも直接グレアが最も多い。これにより、注視している物体が見えにくくなつたり、見え方が悪くなる。そして、目に負担をかけ疲労現象を生じさせる。これらのことについては、すでに多くの発表がなされている¹⁾²⁾。

目の疲労については、毛様筋の疲労をあらゆる調節時間の変動で測定したものが多³⁾い。

本研究は、グレアを生じた状態とそうでない場合の照明下で、読書をしたときの目の疲労について、フリッカー値の変化で検討をしたものである。

§ 2 書斎・勉強室の照明およびグレア

読書、筆記を中心とする書斎・勉強部屋では、グレアを生じないような照明となるよう留意し、全般照明で落ち着いたある雰囲気を作るようにし、かつ、本棚の本が十分明るく照明されるようにし、スタンド等を利用した局部照明で、机上面を適当な高照度とするのが普通である。全般照明に、大形の面光源を使用すれば、光沢のある紙面に光源が映って字が読みにくくなる正反射によるグレアを防ぐことができる。机上面を全部使用する場合は、30cm×40cmの水平面の照度変化を最大照度の10%以内とし⁴⁾、頭暗がりによる照度減少を同じく10%以下にするのが望ましい。

JISによれば、蛍光灯明視スタンドは、 1に示すように、スタンドの中心から左右60°以内の前方50cmが150lx以上、30cmが300lx以上、スタンドが出す光のうち1/20以上が上の方向に出ること、グレアがない、使用者の目の位置(高さ40cmで60cmの距離)から直接ランプが見えないこと等を定めている。

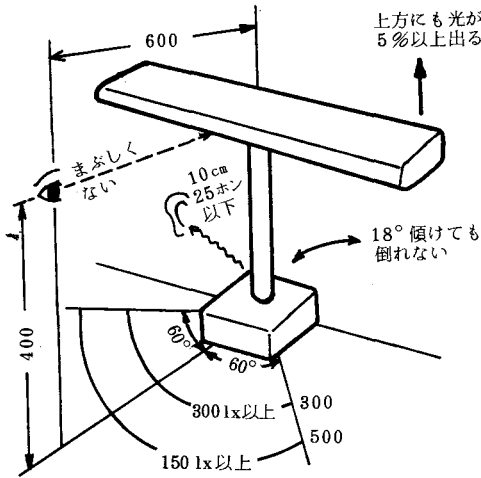


図1 蛍光灯明視スタンド

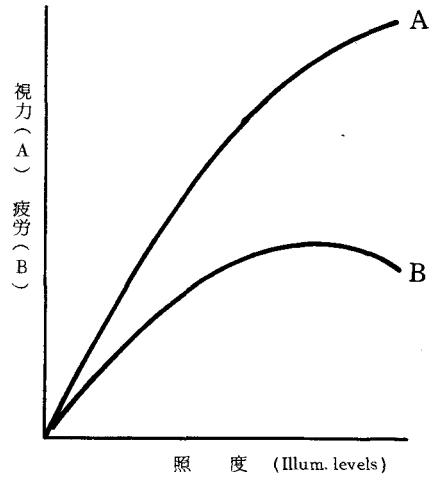


図2 照度と視力および疲労との関係
 曲線A：照度と視力との関係
 曲線B：照度と目の疲労との関係

松井氏は、³⁾ 図2において、照度と目の疲労との関係をあらわすB曲線には山があり、この山にあたる部分の照度が最適照度であると示し、実験結果から、それを1,000～2,000lxと発表している。

グレアについては、いろいろな評価法があり、歴史的には1919年、P.G. Nuttingが、目がMという光束発散度(1m/m²)に順応しているとき、まぶしさを感じはじめる輝度B(cd/m²)は実験式

$$B = 0.259 M^{0.32}$$

で示されることを発表している。⁵⁾

1961年、イギリスで発表されたグレアの評価式は、つぎのとおりである。⁶⁾

$$G = \sum \frac{B_s^{1.6} \cdot \omega^{0.8}}{B_b} \cdot \frac{1}{P^{1.6}}$$

ここに G：施設のグレア定数

B_s ：各光源の輝度(ft-L)

ω ：各光源の目に見込む立体角(sr)

B_b ：全環境の背景輝度(ft-L)

P：各光源の位置の指数

アメリカでは、室内面各部の光束発散度の比について、ムーン・スペンサの理論⁴⁾やローガンの調査⁷⁾がある。この他に、オーストラリア規格やアインホーンの試案等があるが、グレアの評価については決定的なものがない。

なお、グレアは、室内では不快となるが、道路では不能となる点が違う。

§ 3 実験および吟味

被験者は、視力正常の16～17才の男性4名である。実験室の全般照明は、高さ2.7mの天井にH形器具に40W白色蛍光灯が2灯取り付けられたものが直付けされたもので、この光源による机上面の照度は、218lxである。使用したスタンドは、乳白色のプラスチック製の笠を白色金属板にして上の方向に光がでないようにした20W蛍光灯スタンド(白色蛍光灯使用)と、金属製半球形の笠のついた100W用白熱電球用スタンドである。実験は、スタンド照明だけと天井の全般照明を併用した場合で、それぞれスタンドの笠の角度を調節してグレアを生じるときと、そうでない状態で実施した。目とス

タンドの光源までの距離を60cmに固定し、机上面の照度は、いずれの場合も1,000lxになるよう調光した。前記4名の被験者に、各照明下でコンサイス英和辞典を30分間読ませて、その前後でフリッカーメーターを使用してフリッカー値を測定した。予備実験で、目の疲労は30分間休憩をとれば回復することがわかったので、実験を継続する場合は、30分間休憩をさせ、フリッカーメーターで疲労のなくなったことを確認して実施した。

今回の実験では、目の疲労度をフリッカー値の変化率で示すこととし、次式で求めた。したがって、この数値が大きいほど、疲労が大きいことになる。

$$\text{目の疲労度} = \frac{\text{実験前のフリッカー値} - \text{実験後のフリッカー値}}{\text{実験前のフリッカー値}} \times 100\%$$

実験の結果を整理したのが表1である。

これからわかるように、白熱電球のグレアによる目の疲労は大きく、フリッカー値の変化、すなわち目の疲労度は、グレアの無いときに比べて約2倍となっており、蛍光ランプの場合は39%~53%の増加となっている。これは、光源の性質上当然のことと考えられる。また、机上面を同一照度にしても全般照明を併用した場合、1.02%~2.11%減少しているので、その効果が認められる。今回の実験は、時間を30分間としたが、さらに長くすれば、より大きな変化が出るように想像される。いずれにしても、目の疲労にフリッカーメーターは敏感に反応するので、今後の実験に十分期待ができる。

表1 直接グレアによる目の疲労

照明の状態			目の疲労度(%)
ス 照 タ 明 の ド ミ	白電 球	グレア無し	7.49
	熱球	グレア有り	14.68
の ド ミ	蛍 光 灯	グレア無し	7.41
	スタ ンド	グレア有り	10.31
全 併 般 照 明 用	白電 球	グレア無し	6.09
	熱球	グレア有り	12.57
	蛍 光 灯	グレア無し	6.07
	スタ ンド	グレア有り	9.29

§ 4 結 言

フリッカーメーターを使用して、直接グレアの目におよぼす疲労の程度の基礎的研究を行なった。当然のことながら、白熱電球によるグレアの影響は大きく、蛍光ランプに比べて35.3%~42.3%多い。明視スタンドを使用すれば、全般照明の効果もある程度期待できるが、できれば、大形の面光源を使用するのが良い。今回の実験で、目の疲労の測定にフリッカーメーターの利用が十分期待できることがわかった。

最後に、実験に協力していただいた諸君に厚く感謝する。

参考文献

- 1) 蒲山他：照学誌 VOL. 46-3 62(昭37)92
- 2) 市川他：照学誌 VOL. 48-10 64(昭39)476
- 3) 松井他：照学誌 VOL. 47-5 63(昭38)176
- 4) Moon, Spencer: Lighting Design (1947)
- 5) 黒沢：照学誌 VOL. 48-10 64(昭39)519
- 6) 真辺：照学誌 VOL. 48-4 64(昭39)154
- 7) H. L. Logom: Illum. Enging (1939)

(昭和55年10月15日受付)

リヒテンベルグ図の基礎的特性(II)

(SF₆ガス中での沿面放電)

(電気工学科) 若宮正明

Basic Experimental Analysis on Lichtenberg's Figure (II) (Creeping Discharge in SF₆ Gas)

Masaaki WAKAMIYA

My last report presented the various characteristics of Lichtenberg's figure in the air.

In this paper observations on the phenomenon of creeping discharge in SF₆ gas have been made, together with observations on the creeping discharge both in the air and the mixture of air and SF₆ gas under varying pressure by using Lichtenberg's figure.

It was found that very little difference exists in polarity in terms of surface discharge in SF₆ gas and that an increase in gas pressure brings polbüschel reduction and brush discharge. Other results were observed as well.

§ 1 まえがき

針～平板電極による沿面放電の進展状況は、リヒテンベルグ図(以下、L・F図と略称する)を使って写真により推定することが出来るが、前報⁽¹⁾に於ては大気中におけるL・F図の諸特性を、背後電極を変化したとき、針電極の曲率半径を変化したとき、電極間に誘電体を挿入したとき、その他について基礎的特性を把握した。

今回は空気中、SF₆ガス中、及び空気とSF₆ガス中の等量の混合ガス中について圧力を変化して、針～平板電極によるL・F図、特にGleitbüschelの進展特性についての検討を行なった。これにより高気圧中の沿面ストリーマは大気圧中とどのように異なるか、又極性効果はどのようにあられるか、電氣的負性気体であるSF₆ではどのような沿面ストリーマとなるか、また空気とSF₆ガスとの混合気体ではSF₆ガスの影響がどのように作用してくるか、等を実験したものである。

§ 2 実験装置

図1に実験装置の全体図を示す。

高気圧タンクは直径60cm、長さ1mの円筒型で最高10気圧まで耐えるように設計された鉄製タンクで、耐インパルス300kVのブッシング、観測用窓2個、及び測定端子用ブッシング3個が付属したものである。

この他、電極移動装置(0.1mm精度、20cm移動可能)も付いているが今回はこれを使用しない。

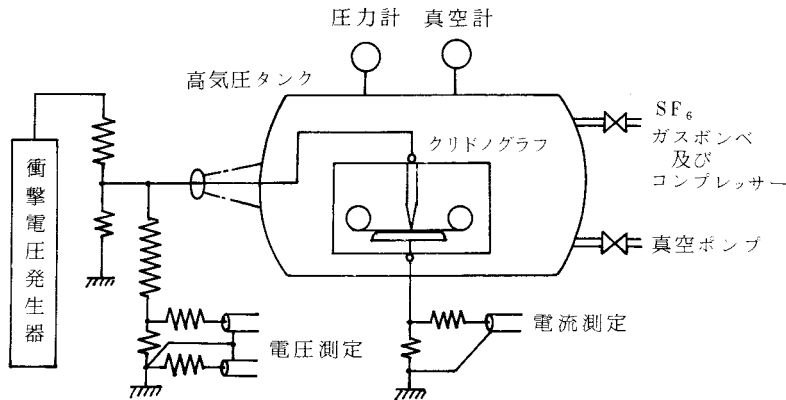


図1 実験回路

クリドノグラフは電圧印加ごとにフィルムを交換すると、 SF_6 ガスをその都度封入しなければならないかなり高価につくので、連続撮影が出来るように、フィルムを小型モーターを使って巻取るような装置を使用した。これによりフィルム(X線用、幅70mm、厚さ0.14mm)は一回の装填により約5m連続的に撮影することが出来る。大きさは高気圧タンクの電極移動装置取付個所から内部へ挿入する必要から制限され約 $100 \times 90 \times 300\text{mm}$ である。

電極装置は針～平板電極を使用した。針電極は、曲率半径0.5mmの真鍮製で、平板電極は $90 \times 130\text{mm}$ の真鍮製、端部に電界が集中しないように丸みを付けている。

衝撃電圧発生器は前報⁽¹⁾と同様、300kV、3.75kwsの衝撃電圧発生器で $(1.1 \times 40)\mu\text{s}$ の標準衝撃電圧を発生させ、分圧器を使って電圧印加を行なった。

電圧・電流測定は、超高速過渡現象解析システムとして、今年度納入された装置の一部である2チャンネルのデジタルメモリー(10ns～0.5s/word, 2kword, 8bit, 2CH)を使って、印加電圧と電流を同時に測定した。

§ 3 実験結果

3.1 高気圧中での沿面放電

高気圧タンクを 10^{-2}mmHg まで真空に引き、乾燥空気をコンプレッサーで送り込んで印加電圧とL・F図との関連を調べた。この結果を図2に示し、Gleitbüschelについては写真1(縮尺は無記入のものは1:1)に示す。

正極性：1気圧では印加電圧を上昇することにより、I図形(Initialの略)→P図形(Polbüschelの略)→T図形(Transientの略)→G図形(Gleitbüschelの略)と変化するが、2気圧・4気圧ともI図形、T図形が明確に現われなかった。

P図形(1気圧についてはT図形もP図形に含めて考える)について、その最も大きなものは1気圧では9mm、2気圧では8.5mm、4気圧では1.6mmとなるが、これから計算すると、P図形の大きさは気圧の約1.3乗に反比例して小さくなる事が分かる。念のため0.5気圧についてもP図形の大きさを求めると、最大値は18mmであった。

G図形については、気圧を上昇するに従い発光の強いリーダ部はあまり先端部まで伸びず、先端にいくに従い電荷の注入が減少しているものと思われ、チャンネルの枝分かれも曲りが少なくなる傾向がある。また先端部は発光の弱い沿面ストリーマが、1気圧では長く伸びているが4気圧になるとこれが殆んど見られなくなる。

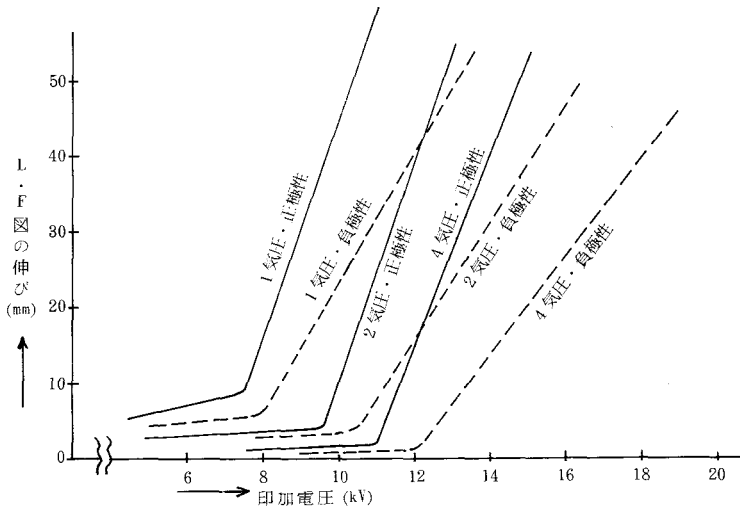
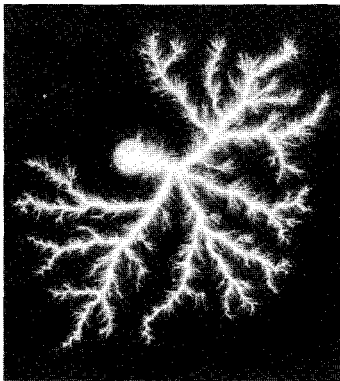
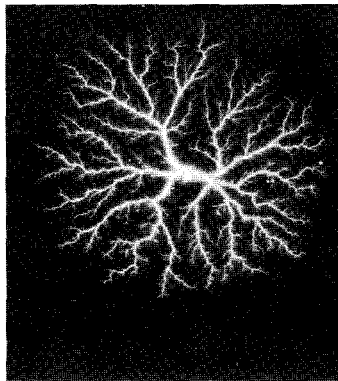


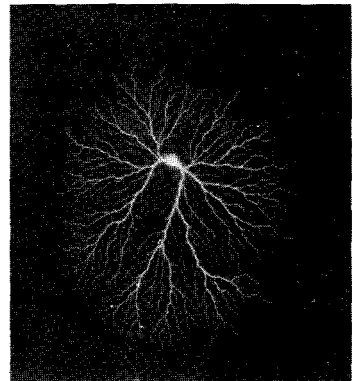
図2 高気圧空気中のL・F図の伸び



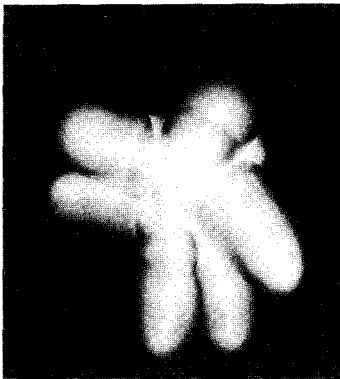
1 気圧
 $V = +9.1 \text{ kV}$



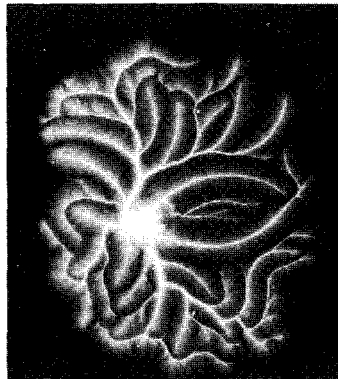
2 気圧
 $V = +11.6 \text{ kV}$



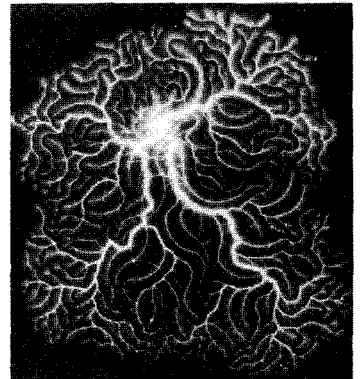
4 気圧
 $V = +12.4 \text{ kV}$



1 気圧
 $V = -10.7 \text{ kV}$



2 気圧
 $V = -12.4 \text{ kV}$



4 気圧
 $V = -18.2 \text{ kV}$

写真1 高気圧中の Gleitbüschel

印加電圧とG図形の伸びとの関係は、伸び $L = A(V - V_0)^n$ の関係があると思われる。ここで、 A : 定数(mm/kV) V_0 : 定数ではほぼ Gleitbüschel の開始電圧と一致する(kV) n : 定数 V : 印加電圧(kV)。しかしバラツキが大きいことを考え合わせると $n = 1.0$ として $L = A(V - V_0)$ で実用的に差支えないと思われる。ここで A と V_0 を求めてみると、1気圧では $A = 1.40$ $V_0 = 6.9$ 2気圧では $A = 1.30$ $V_0 = 8.8$ 4気圧では $A = 1.24$ $V_0 = 10.8$ となる。

負極性：正極性と異なりI図形、T図形ともに見られず、P図形からG図形へと変化する。P図形については、その最大値をとってみると、0.5気圧で10mm、1気圧で5mm、2気圧で2.5mm、4気圧では1.2mmとなり前述の正極性の場合と比較すれば、その伸びはおよそ $\frac{1}{2}$ 倍となり負性コロナが進展しにくいことを示している。気圧による伸びとの関係は正極性の場合とはほぼ等しく、およそ気圧の1.3乗に反比例していることが分かる。

P図形からG図形へ転移する電圧は、正極性より大きなバラツキとなるが、平均的には図2の如く、正極性よりやや高い値を示している。

G図形の形状は、写真1に示す通り中心部にリーダが強い負電荷を注入し、そこから放射状に負コロナによる弱い発光が広がっている。言わば羽根のようになる。

気圧を上昇するに従い負コロナの伸びは小さくなり、所謂、羽根の幅が小さくなった性状を示すが、この幅を計ってみると気圧のほぼ1.4乗に反比例して小さくなることが分かる。またリーダチャンネルの拡がり、負電荷が羽根の端部に残留するため、羽根の周囲をとりまくように進展していく。

G図形の伸びと印加電圧との関係は、 $L = A(V - V_0)$ で示すと1気圧では $A = 0.94$ $V_0 = 7.6$ 2気圧では $A = 0.78$ $V_0 = 10.0$ 4気圧では $A = 0.67$ $V_0 = 11.9$ となる。

3.2 SF₆ガス中の沿面放電

高気圧タンク内の空気を真空ポンプで 10^{-2} mmHgまで引き、SF₆ガスボンベから直接ガスを送り込んだ後、タンク内が安定するまで約30分間、時間をおいてから測定を行なった。ガス圧力を変化するときも同様で、タンク内部が一応安定するまで時間をおいて測定した。

印加電圧を変化したときのL・F図の伸びを、図3に示す。

Polbüschelについては、正極性の0.5気圧のときややバラツキが大きく、Gleitbüschelへ転移するのは11kV前後であるが時としては9.5kVくらいから転移することもあるが、ガス圧力を上昇すると安定してくる。

負極性についてはこの転移がなだらかに変化しているが転移する電圧自体は安定している。高気圧中のP図形と大きく異なるのは、(1)P図形の大きさが小さいこと、(2)正極性と負極性では殆んど大きさが同じであること(実測によると、正極性、負極性とも0.5気圧で2.5mm、1気圧では1.5mm、2気圧で1.0mmでいずれも気中の場合の $\frac{1}{7} \sim \frac{1}{2}$ である)、(3)負極性のP図形が正極性のそれよりやや大きい。

G図形は写真2に示すが、気中と違って正極性と負極性とは、さほど極端な違いは無く基本的にはチャンネルの先端から扇状に沿面コロナが拡がり、リーダはステップ状に進展するという傾向をもつ。

極性による違いとしては、正極性の方は割合単調にチャンネルが樹枝状に進展していくのに対し、負極性では枝が鋭角的な曲りでジグザグとなる。0.5気圧のとき像はややかすんでみえるが、ガス圧が低い場合沿面コロナはフィルム表面からやや浮いて進展していくため、ガス圧を増すに従ってコロナはフィルム面に密着して進展するため像がシャープとなる。

負性気体中では負極性のとき沿面ストリーマはステップ状になるという説⁽²⁾もあるが、写真2でも明らかな如く正極性・負極性とも扇状となりステップ状に進展すると云える。2気圧の場合、L・F図は扇状が見えにくいので写真の下端の一部を拡大したのが写真3である。これで明らかな如く、ガス圧を増加してもステップ状の傾向は変わらず、扇の大きさは正極性では負極性よりやや小さいが鮮明な像となる。尚、圧力を増加して8気圧程度になると扇状は無くなるという報告⁽³⁾がある。

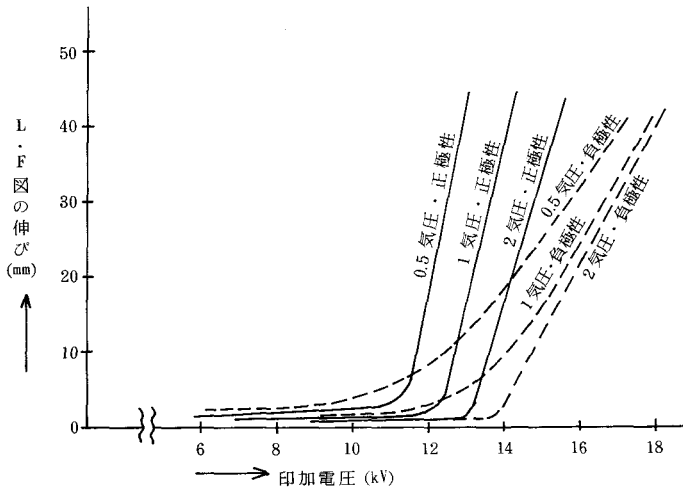
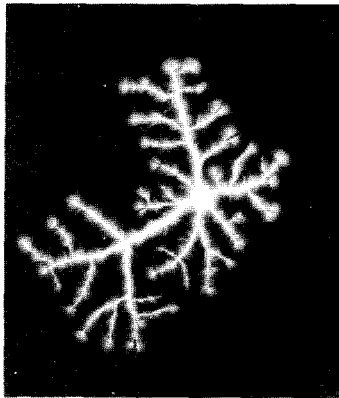
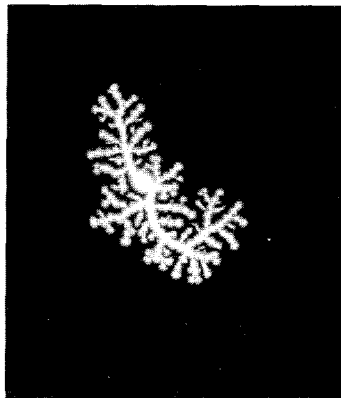


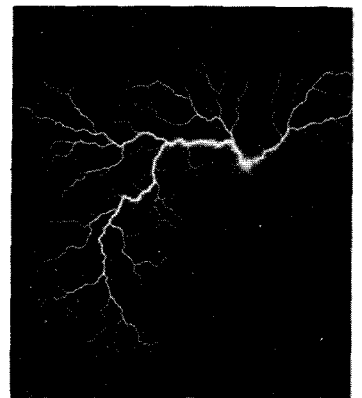
図3 SF₆ガス中でのL・F図の伸び



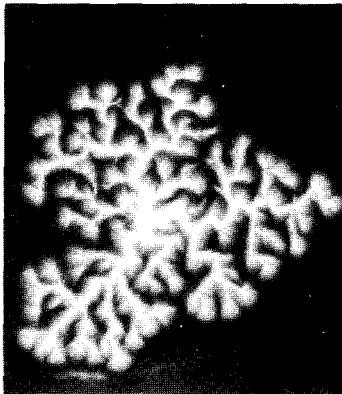
0.5 気圧
 $V = +12.4 \text{ kV}$



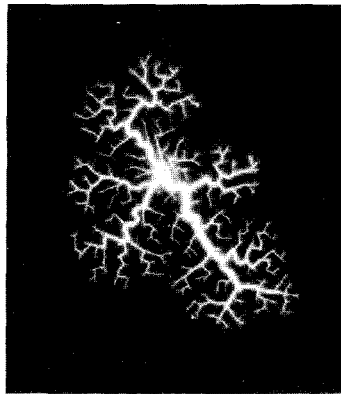
1 気圧
 $V = +13.2 \text{ kV}$



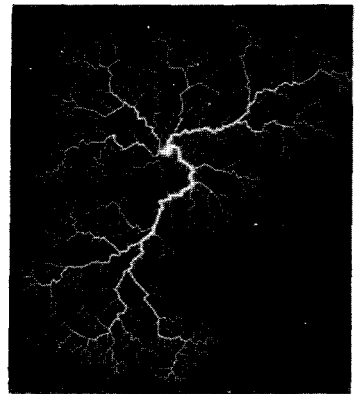
2 気圧
 $V = +14.8 \text{ kV}$



0.5 気圧
 $V = -14.8 \text{ kV}$



1 気圧
 $V = -16.5 \text{ kV}$

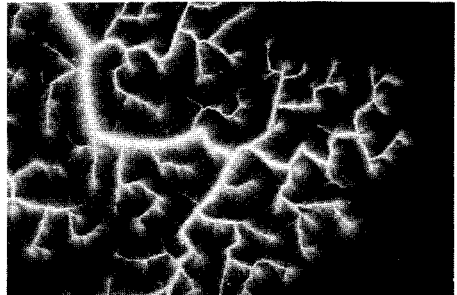
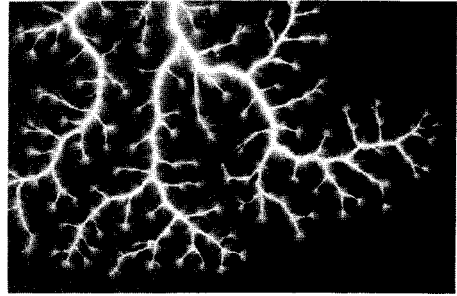


2 気圧
 $V = -17.3 \text{ kV}$

写真2 SF₆ガス中のGleitbüschel

扇状の傾向としては、正極性では正電荷が放射状に局部的に拡がっていくのに対し、負極性の場合はシャワー状に拡がっている。

G図形の伸びを $L = A(V - V_0)$ の式で示すと、 A 、 V_0 の値は、正極性のとき $\frac{1}{2}$ 気圧では $A = 2.3$ $V_0 = 11.2$ 1気圧では $A = 2.0$ $V_0 = 12.2$ 2気圧では $A = 1.6$ $V_0 = 13.0$ 負極性のとき、 $\frac{1}{2}$ 気圧のときは明確に出ないが、1気圧では $A = 1.0$ $V_0 = 13.0$ 2気圧では $A = 1.0$ $V_0 = 13.7$ となる。気中の場合と比較してみると、P図形からG図形への転位電圧 V_0 はかなり高くなるが、一旦沿面プラシコロナが出ると気中より気中より拡がり (A の値で示される) が大きいことが分かる。また、 SF_6 ガスのように電気的陰性度が大きい気体では、負極性の沿面ストリーマはかなり抑制され、特にガス圧の低い場合は顕著にあらわれる。



上：正極性 下：負極性 1 mm

写真3 SF_6 2気圧のL・F図の拡大

3.3 SF_6 ガスと空気との混合ガス中での沿面放電

SF_6 ガスと空気を 1 : 1 の割合に混合した場合について測定を行なった。封入方法は高気圧タンクをまず真空に引いた後、 SF_6 ガスを圧力計を見ながら封入し、さらに圧力計が SF_6 ガスのときの2倍になるまでコンプレッサーで乾燥空気を送り込んだ。タンク内でうまく混合させるために内部に小型ファンを設けると良いが、測定用ブッシングが3個(フィルム巻取り用モーター電源に2個、電流測定用に1個使用)しかないため、封入してから充分時間を置いて実験した。

印加電圧とL・F図の伸びとの関係を図4に示す。

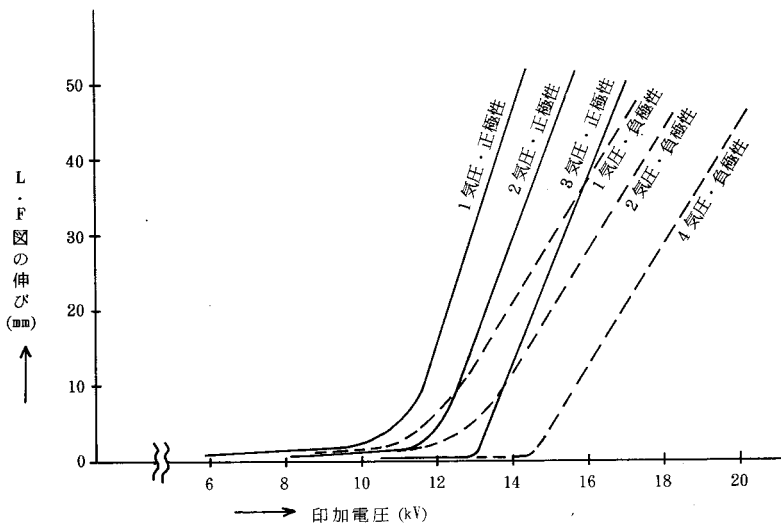


図4 混合ガス中のL・F図の伸び

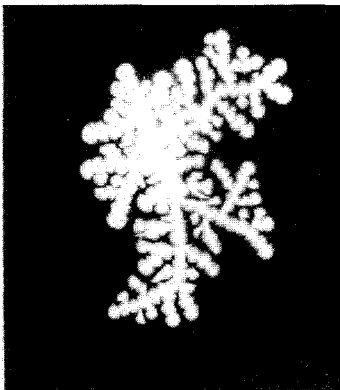
P 図形は空気の場合と比較してきわめて小さくなり、特に4気圧になると全く見られなくなる。即ち電圧を印加しても直径1mm程度のL・F図は得られるが、拡大してみるとP図形特有の中心から放射状に拡がった円形ではなく、黒い点の集合で、円形になっていない。

G 図形は写真4に示すが、気中の特性は殆んどみられずSF₆ガス中とかなり似かよった形状となる。

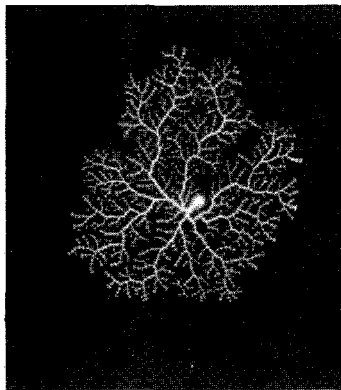
1気圧では極性差は殆んど見られず、SF₆ガスの0.5気圧で正極性の場合とはほぼ一致する。2気圧ではSF₆ガスの1気圧と2気圧の中間程度の折れ曲りを呈するが、負極性には特有の鋭角的なチャンネルが見られる。また、各ステップから出る扇状の発光は正極性の方が小さくて鮮明である。4気圧では負極性特有の鋭角的な曲りはかなり少なくなってくる。負極性のG図形は末端までチャンネルが繋がって見えるが、正極性のそれは枝の途中でとぎれている。しかし拡大してみると細いストリーマで繋がっていることが分かる。

G 図形の伸びを $L = A(V - V_0)$ で求めるとほぼ空気とSF₆ガスとの中間の値となる。AとV₀を気中及びSF₆中及び混合ガス中で比較したのが図5である。

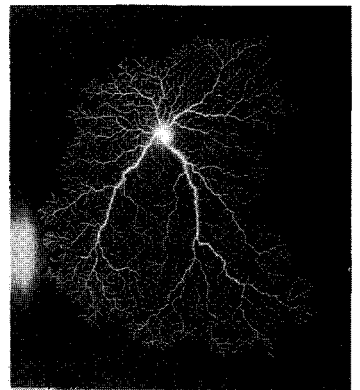
印加電圧波形及び電流波の一例を写真5に示すが、G図形が大きく伸びると電流値も大きくなり、電圧波形の波頭部分にやや変歪が生じる。またP図形では、電流値はきわめて小さく振動波形となるが、



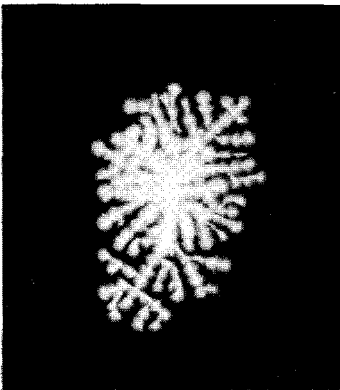
1 気圧
V = +12.4 kV



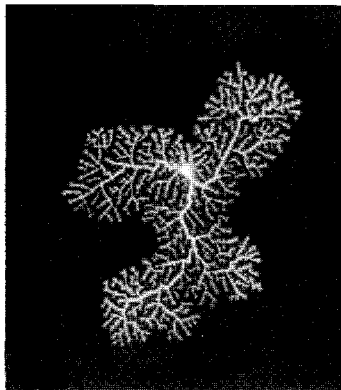
2 気圧
V = +13.2 kV



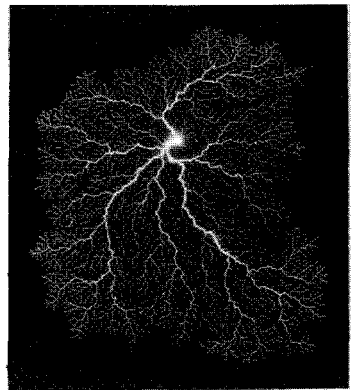
4 気圧
V = +15.7 kV



1 気圧
V = -14.1 kV



2 気圧
V = -15.7 kV



4 気圧
V = -18.2 kV

写真4 混合ガス中の Gleitbüschel

これらはまとめて次の機会にしたい。

§ 4 あとがき

SF₆ガス中、空気、及び空気とSF₆ガスの混合(混合比1:1)について、圧力を変化して印加電圧に対するL・F図の性状を調べたが、SF₆ガス中では Pol-büschel, Gleitbüschel とも、負性ガス特有の性状を示し、気中とは大幅に異なってくる。

SF₆ガスと空気を等量混入した場合は、空気とSF₆ガスの中間というよりも、SF₆ガスにかなり近い特性を有することが分かった。

気中の場合、気圧を上昇させるとフィルム上を伸びる沿面コロナが圧迫されるため、放電図形の伸びは小さくなるが、形状としては正・負両極性とも類似な図形となる。

SF₆ガス中では、極性による差は細かい相異点はあるが、基本的にはほぼ同様の沿面放電特性を示す。

SF₆ガスと気中とを比較すると、ガス中では沿面ブラシコロナの開始電圧は高いが、一旦ブラシコロナが出ると気中よりコロナの進展は大きいと云える。

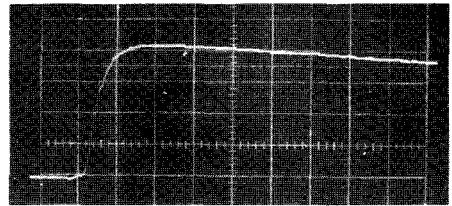
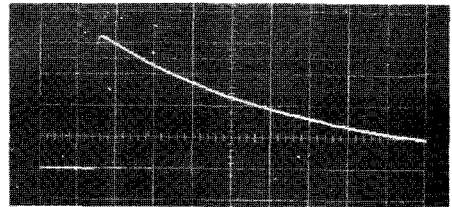
参考文献

- 1) 若宮, 呉高専研究報告, 16巻1号.
- 2) 秋田・他, 昭和54年電気学会全国大会.
- 3) 鳳・河野, 昭和54年電気4学会連合大会.

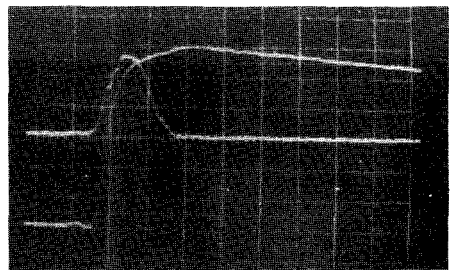
(昭和55年10月15日受付)

極性	気体の種類	1 気 圧		2 気 圧		4 気 圧	
		(mm/kV) A	(kV) V ₀	A	V ₀	A	V ₀
正極性	空 気	1.40	6.9	1.30	8.8	1.24	10.8
	SF ₆	2.00	12.2	1.56	12.8		
	混 合	1.52	11.0	1.30	11.8	1.22	12.9
負極性	空 気	0.94	7.6	0.78	10.0	0.67	11.9
	SF ₆	1.0	13.2	1.0	13.6		
	混 合	0.80	11.3	0.80	12.5	0.80	14.4

図5 A, V₀の値の比較



印加電圧波形 4.3kV/div
上: 10μs/div 下: 1μs/div



電圧: 32kV/div 電流 0.08 A/div
掃引: 1μs/div

写真5 印加電圧波形及び電流波形

電子エネルギー分布関数 (計算 2)

(電気工学科) 山崎 勉

Electron Energy Distribution Function (Calculation 2)

Tsutomu YAMAZAKI

Electron energy distribution function is calculated from the Boltzmann transport equation, including, elastic, excitation, ionization, electron-electron, and electron-ion interactions, to determine the characteristics of the field strength vs. discharge current in helium glow discharge. Direct and stepwise processes are also considered. The range of parameters is :gas pressure $P = 0.1 - 5.0$ Torr., discharge current $I = 10 - 500$ mA. To find the plasma density, the rate equations for the four lower excited levels and electron is solved. The results are in good agreement with the experimental data.

§ 1 まえがき

前回の計算¹⁾では、非弾性衝突項は全衝突断面積を用いて数値解析により分布関数を求めた。また累積励起等の計算には、励起分子密度(準安定原子密度)を一定として取扱った。しかし実際には、E/PやPの変化によりその密度は大きく変化する。(Eの電界強度、P気圧)その結果、前回のような方法で求めた分布関数から陽光柱プラズマの諸量を求め、放電特性等を計算すると実際の値と大きな差を生じると考えられる。そこで本報告では、次の事項について修正を試みた。また、求めた分布関数を利用して各種プラズマ諸量およびグロー放電陽光柱プラズマの電界・電流特性等を求めた。

(1)非弾性衝突項の衝突断面積を各励起準位への衝突断面積に分解した。

(2)累積励起・累積電離の計算に必要な励起原子密度を、粒子数平衡式より計算しその結果を用いて分布関数を計算した。

(3)励起原子密度と同時に電子密度も求まるので、電子-電子、電子-イオンのクーロン衝突の効果を考慮した。

計算は、ヘリウムグロー放電陽光柱プラズマについて行い、気圧 $P = 0.5 - 5.0$ (Torr.)、または、 $0.1 < PR < 5.0$ (Torr. · cm)、ここでRは円筒放電管の半径、および放電電流 $I = 10 - 500$ (mA)の範囲について各量を求めた。

§ 2 電子エネルギー分布関数の計算

電子エネルギー分布関数 $f(u)$ に対する Boltzmann 方程式は、次のようになる^{1,2)}。

$$\frac{1}{\sqrt{u}} \frac{d}{du} \left[H(u) \frac{df}{du} + G(u) f \right] = \sum_j N_g \left[Q_{gj}(u + U_{gj}) f(u + U_{gj}) \sqrt{u + U_{gj}} - Q_{gj}(u) f(u) \sqrt{u} \right]$$

$$+ \sum_{i,j} N_i \left[Q_{ij} (u + U_{ij}) f(u + U_{ij}) \sqrt{u + U_{ij}} - Q_{ij}(u) f(u) \sqrt{u} \right] \dots \dots \dots (1)$$

$$H(u) = \frac{u}{3} \frac{E^2}{N_g (Q_d + Q_s)} + \delta N_g (Q_d + Q_s) u^2 U_g + 2\nu_{ee} \left[\int_0^u x f \sqrt{x} dx + u^{3/2} \int_u^\infty f dx \right] \dots \dots \dots (2)$$

$$G(u) = \delta N_g (Q_d + Q_s) u^2 + \nu_{ee} \int_0^u f \sqrt{x} dx \dots \dots \dots (3)$$

ここで弾性衝突断面積は、

$$Q_d = \begin{cases} 6.5 \times 10^{-16} \text{ (cm}^2\text{)} & u \leq 4.0 \text{ (eV)} \\ 1.3 \times 10^{-15} / \sqrt{u} & u > 4.0 \end{cases} \dots \dots \dots (4)$$

電子-イオン衝突の衝突断面積²⁾

$$Q_s = (1.5 \nu_{ee} / u^2) \cdot (N_e / N_g) \dots \dots \dots (5)$$

ここで

$$\nu_{ee} = \frac{e^2}{24 \pi \epsilon_0} \ln \left(12 \pi \left(\frac{\epsilon_0 U_e}{e N_e} \right)^{1.5} N_e \right) \dots \dots \dots (6)$$

$$U_e = \frac{2}{3} \int_0^\infty u f \sqrt{u} du \dots \dots \dots (7)$$

規格化条件

$$\int_0^\infty f \sqrt{u} du = 1 \dots \dots \dots (8)$$

(1)式の右辺 Q_{ij} は、 i 準位から j 準位への励起衝突断面積を示す。(2)および(3)式で ν_{ee} のかかった項は、電子-電子衝突項である。この項は、電子密度 (N_e) が大きくなると重要になってくる。 N_g は気体密度 ($N_g = 3.54 \times 10^{16} \cdot P \text{ (cm}^{-3}\text{)}$), $\delta = 2m/M$ は、電子と気体分子の弾性衝突による損失係数を示し $U_g = kT_g/e$ はガス温度を表わす。(k はボルツマン定数, e は素電荷, ϵ_0 は真空の誘電率)

非弾性衝突項は、次のように考えた。励起原子密度の計算に必要な衝突項として、主量子数が2である4つの準位への直接励起、および直接電離を最初に考えた。次に、この5つの他に主量子数が3以上の準位への直接励起を、一重項と三重項の2群に分けて考え、これら7つの断面積の和が前回の全衝突断面積に近い値となるように、主量子数が3以上の項に対する断面積を決定した。この場合衝突によって失われるエネルギーは励起の準位により異なった値 (U_{ij}) となる。全衝突断面積を用いた場合には、一定値 (最小の直接励起エネルギー) となっていたため、各衝突項の効果は現われない。

累積励起等は、準安定準位 ($2^1S, 2^3S$) からの過程のみを考えた。それぞれの準位から最も近い準位への累積励起と累積電離のみを考慮し、他の準位への励起は考えない³⁾。

衝突断面積は、非弾性衝突に対してすべて次のような Fabrikant の式を用いた。

表1 Cross Section (Inelastic Collision)

$i \ j$	$Q^m (\text{\AA}^2)$	$U_m \text{ (eV)}$	$U_{ij} \text{ (eV)}$
$g \ 1$	0.035	50.0	20.62
$g \ 2$	0.118	77.0	21.22
$g \ 3$	0.035	22.0	19.82
$g \ 4$	0.020	23.0	20.96
$g \ \Sigma_1$	0.020	100.0	23.0
$g \ \Sigma_3$	0.010	22.0	21.0
$g \ e$	0.374	125.9	24.59
$1 \ 2$	187.0	2.2	0.6
$1 \ e$	7.0	14.7	3.97
$3 \ 4$	77.0	4.1	1.14
$3 \ e$	4.9	17.6	4.77

$$Q_{ij}(u) = Q^m \frac{u - U_{ij}}{U_m - U_{ij}} \exp\left(\frac{U_m - u}{U_m - U_{ij}}\right) \dots\dots\dots (8)$$

ここで Q^m は、衝突断面積の最大値を示し、その時の電子エネルギーが U_m である。各衝突過程に対する Q^m , U_m , U_{ij} を表1に示す。ただし準位等の記号は表2のとおりである。

前回と同様に、最初にW. K. B 解を与え分布関数を求めた。次にその結果から粒子密度を算出して、この密度を用いて再び、計算を行いある範囲内に収束するまでこれをくり返した。

表2 Symbols

subindex	atomic state	density	
<i>g</i>	ground state	N_g	1^1S
1	metastable state	N_1	2^1S
2	excited state	N_2	2^1P
3	metastable state	N_3	2^3S
4	excited state	N_4	2^3P
Σ_1	sum of the singlets		
Σ_3	sum of the triplets		
<i>e</i>	free electron	N_e	

§ 3 粒子数平衡式

陽光柱プラズマは、円筒放電管（半径R）内に存在し、外部電界(E)は軸方向に印加されている。プラズマ内では、イオンや電子の平均自由行程は管半径に比べ非常に小さく、体積再結合は無視でき、再結合は管壁でのみ行なわれる。荷電粒子は、両極性拡散すると仮定すると、径方向には零次の Bessel 関数 (J_0) で密度分布を表わす事ができる。また、励起原子密度の径方向分布は、簡単のため J_0 分布を仮定した。

分布関数、粒子密度は、すべて管軸上での値として計算する。分布関数の空間不均一性は無視し、軸上付近で一様であるとする。準安定原子密度の計算は、次のように考えた。ヘリウムの励起準位の中から主量子数が2である4つの準位を考え、粒子数平衡式は計算を容易にするためいくつかの近似を採用した。⁴⁾⁵⁾ その遷移関係を図1に示す。ここで、実線は電子衝突過程である。一点鎖線で示したのも同様であるが、密度の計算では 2^1S からの電離項を 2^3S からの電離項に比べ小さいものとして無視し、一点鎖線で示された他の励起過程は分布関数の計算にのみ用いた。点線は、光放射による遷移である。波状になって左右に出て行くのは、径方向拡散等による損失を示す。破線は、準安定原子同士の衝突による Penning 電離の項である。各準位の密度を表2に示す記号で示すと、粒子数平衡式は次のように表わせる。（ここで、 \dot{N} は時間微分 $\dot{N} = dN/dt$ を表わす）

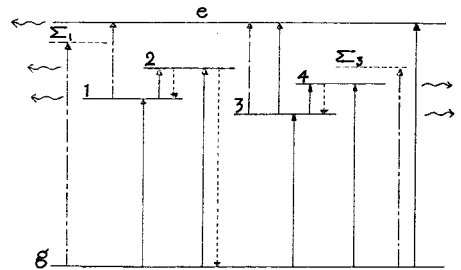


図1 ヘリウムの励起準位と準位間の遷移

$$\dot{N}_1 = Z_{q1} N_q N_e + A_{21} N_2 - N_1 (D_1 + Z_{12} N_e + Z_{1e} N_e + Z_{21} N_q) \dots\dots\dots (9)$$

$$\dot{N}_2 = Z_{q2} N_q N_e + Z_{12} N_1 N_e - N_2 (D_2 + A_{21} + A_{2q}) \dots\dots\dots (10)$$

$$\dot{N}_3 = Z_{q3} N_q N_e + A_{43} N_4 - N_3 (D_3 + Z_{34} N_e + Z_{3e} N_e + 2 Z_p N_3 + Z_3 N_q^2) \dots\dots\dots (11)$$

$$\dot{N}_4 = Z_{q4} N_q N_e + Z_{34} N_3 N_e - N_4 (D_4 + A_{43}) \dots\dots\dots (12)$$

$$\dot{N}_e = Z_{qe} N_q N_e + Z_{3e} N_3 N_e + Z_p N_3^2 - D_{am} N_e \dots\dots\dots (13)$$

ここで Z_{ij} は分布関数を用いて次式で求め、 $\nu_{ij} = N_i Z_{ij}$ は i 準位から j 準位への励起周波数である。

$$Z_{ij} = \int_0^\infty \sqrt{\frac{2eu}{m}} Q_{ij}(u) f\sqrt{u} du \dots\dots\dots (14)$$

原子同士の衝突は、準安定状態から基底準位へ遷移させる。ここでは、 2^1S に対し基底準位原子との二体衝突による準安定原子の損失(Z_2)を考えた。 2^3S に対しては、準安定原子同士の衝突による電離(Z_p)と、二つの基底準位原子との三体衝突による損失(Z_3)を考えた。それぞれ次のような値となる。^{7,8)}

$$Z_2 = 6.0 \times 10^{-15} \sqrt{T_g/300} \quad (\text{cm}^3 \text{S}^{-1}) \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$Z_p = 2.0 \times 10^{-9} \sqrt{T_g/300} \quad (\text{cm}^3 \text{S}^{-1}) \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$Z_3 = 2.5 \times 10^{-34} T_g/300 \quad (\text{cm}^3 \text{S}^{-1}) \quad \dots\dots\dots (17)$$

ここで、準安定原子の温度は気体温度と等しいとしている。準安定原子の発生源としては直接励起の他に、より高い準位から自然放射により遷移する事が考えられる。ここでは、すぐ上の準位からの遷移のみ考慮し $2^1P \rightarrow 2^1S$ 、と $2^3P - 2^3S$ に対して

$$A_{21} = 2.0 \times 10^6 \quad (\text{S}^{-1}) \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$A_{43} = 8.0 \times 10^6 \quad (\text{S}^{-1}) \quad \dots\dots\dots (19)$$

一方 $2^1P \rightarrow 1^1S$ の遷移は共鳴線である。捕捉等を考慮して次のように表わした。

$$A_{2q} = 2.34 \times 10^5 (1/(P \cdot R) + 10\sqrt{0.4/R + 1/(P \cdot R)}) \quad (\text{S}^{-1}) \quad \dots\dots\dots (20)$$

径方向拡散による損失は、粒子の径方向分布を J_0 分布と仮定している⁷⁾ので、次のように表わせる。ただし、 2^1S と 2^1P 、 2^3S と 2^3P は同じ拡散係数であると仮定している。

$$D_1 = D_2 = (1.41 \times 10^{15}/N_g) \cdot (T_g/300) \cdot (2.4048/R)^2 \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$D_3 = D_4 = (1.47 \times 10^{15}/N_g) \cdot (T_g/300) \cdot (2.4048/R)^2 \quad \dots\dots\dots (22)$$

電子の両極性拡散損失は、イオンの移動度を b_i で表わすと、

$$D_{am} = b_i (D_e/b_e) \cdot (2.4048/R)^2 \quad \dots\dots\dots (23)$$

ここで、 D_e 、 b_e は電子の拡散係数、移動度で次式で求まる。

$$D_e = \frac{1}{3} \int_0^\infty \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{u}{N_g Q_d} f du \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$b_e = \frac{1}{3} \int_0^\infty \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{u}{N_g Q_d} \frac{df}{du} du \quad \dots\dots\dots (25)$$

イオンの移動度は、次式を用いた。⁹⁾ (T_i はイオン温度)

$$b_i = e/(M \nu_i) \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$\nu_i = \sqrt{\frac{8kT_i}{\pi M}} N_g \left(37.3 + \frac{5.67}{\sqrt{\frac{8k}{\pi e} (T_i + T_g)}} \right) \times 10^{-16} \quad \dots\dots\dots (27)$$

各粒子密度は、(9)~(13)式を連立させて解くことにより求まる。(定常状態 $\dot{N}=0$)

(12)式より

$$N_4 = (Z_{q4} N_g + Z_{34} N_3) N_e / (D_4 + A_{43}) \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$\alpha = A_{43} / (D_4 + A_{43}) \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$\beta = A_{21} / (D_2 + A_{21} + A_{2q}) \quad \dots\dots\dots (30)$$

とおくと、 N_3 について次式が成立する。

$$aN_3^2 + bN_3 - c = 0 \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$\left. \begin{aligned} a &= Z_p (Z_{3e} + Z_{34}(\alpha - 1)) \\ b &= Z_{3e}(D_3 + Z_3 N_q^2) + Z_p((2Z_{qe} + Z_{q3} + \alpha Z_{q4})N_q - 2D_{am}) \\ c &= (D_{am} - Z_{qe}N_q)(D_3 + Z_3 N_q^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (32)$$

これより、 2^3S の密度は、

$$N_3 = (\sqrt{b^2 + 4ac} - b) / 2a \quad \dots\dots\dots (33)$$

N_3 より他の4つの密度も求まり

$$N_e = Z_p N_3^2 / (D_{am} - Z_{qe}N_q - Z_{3e}N_3) \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$N_2 = (Z_{q2}N_q + Z_{12}N_1)N_e / (D_2 + A_{21} + A_{2q}) \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$N_1 = (Z_{q1}N_q + \beta Z_{q2}N_q)N_e / (D_1 + (1 - \beta)Z_{12}N_e + Z_2 N_q^2) \quad \dots\dots\dots (36)$$

粒子数平衡式の各係数は、分布関数により求まるので、計算の手順として初めに任意の密度を仮定して分布関数を求め、それをういて粒子密度を求める((33), (34), (36)式)。次にこの密度で分布関数を計算し、電子密度、励起原子密度、電子温度等の値が一定になるまで密度計算と分布関数の計算をくり返して行い千分の一程度の誤差におさまるように設定して、収束計算を行った。

一方、陽光柱を流れる放電電流は次式で表わされる。

$$I = \int_0^R e N_e J_0 \left(\frac{r}{R} 2.4048 \right) b_e E 2\pi r dr \approx 1.357 e N_e b_e E R^2 \quad \dots\dots\dots (37)$$

これを用いると、グロー放電陽光柱の電界電流特性を求める事ができる。

§ 4 計算結果とその考察

計算に用いた衝突断面積の総和を図2に示す。点線は、M. Schaperらの最近の測定結果¹⁰⁾で $u \leq 25$ (eV)までである。破線は、前回の計算で用いた近似式である。

$$Q_a = 2.25 \times 10^{-3} (u - 16.7) \sqrt{u} \quad (\text{\AA}^2) \quad \dots (38)$$

また図中に直接電離の衝突断面積も示した。

$$Q_i = 1.30 \times 10^{-2} (u - U_{qe}) \quad (\text{\AA}^2) \quad \dots\dots\dots (39)$$

今回の計算に用いた断面積のうち 2^2S への励起断面積は、 $U_m = 22.0$ (eV)にしているため $u = 20$ (eV)付近で大きな違いが現われている。 $U_m = 20.4$ (eV)付近が最大断面積となる測定結果¹⁰⁾が得られている。しかし、Fabrikantの式で近似しているため、最大値をすぎたところから急激に小さくなりすぎ、 2^3S への励起が極端に少なくなる。実際には、最大値をすぎた後にもかなりのエネルギー値までゆるやかに減少している。そこで、これらの事を考慮して表1のように設定した。

図3と図4に $P = 1.0$ (Torr.), $E = 5$ (V/cm)の時

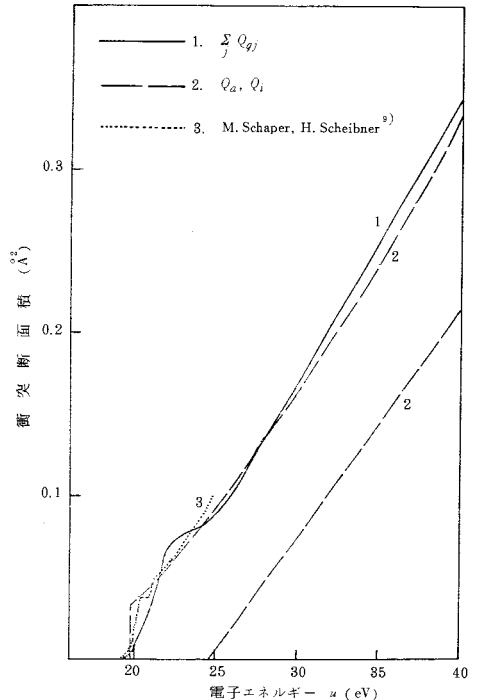


図2 非弾性衝突断面積の比較

の電子エネルギー分布関数を示した。破線で示した曲線は、直接励起と直接電離((38), (39)式)のみを考慮して求めた分布関数で、 E/P を与える事によりただ一通りに決定される。実線で示した曲線が今回計算した結果である。粒子密度は、 $N_1 = 9.64 \times 10^{10}(\text{cm}^{-3})$, $N_3 = 2.55 \times 10^{12}(\text{cm}^{-3})$, $N_e = 1.87 \times 10^{11}(\text{cm}^{-3})$ である。

図3を見ると電子エネルギーが非常に大きい所と非常に小さい所で今回の計算値が大きくなっている。また、電離エネルギーより低い所では、累積励起・電離やクーロン衝突を考慮しなかった方が大きくなっている。この傾向は、累積励起・電離を考えた場合に現われる事は前回の計算結果でも示されている^(1,11)。

図4は、分布関数に速さをかけた値($\sqrt{u} f$)を縦軸にしている。分布関数と座標軸で囲まれた部分の面積は規格化条件(8)式より1になっている。実線が今回の計算で求めた分布関数である。それと同一平均エネルギーをもつ Maxwell 分布を一点鎖線で示した。破線は、直接励起・電離のみ考慮した場合で図3の曲線に対応する。Maxwell 分布は、電子エネルギーが20(eV)以上の所でもなお大きな値を持つが、Boltzmann 方程式から計算した場合にはこの付近で急激に小さくなっている。累積効果やクーロン衝突を考慮した分布関数は、直接励起のみの場合と Maxwell 分布の中間にきている。この事から、累積効果は第一励起エネルギー(U_{g3})以下のエネルギー領域で重要な役割を果している事がわかる。一方、クーロン衝突については、荷電粒子密度(N_e)が十分に大きくなるとその影響は、ほとんど無視できる。クーロン衝突は、分布関数の高エネルギー部の増加とわずかであるが低エネルギー部の減少に寄与し、累積効果とは逆の効果をもたらすようである。その結果、平均エネルギーは大きくなる。その値(U_e)を図4の中に示してある。この原因としては、主として電子-イオン衝突により実効的に弾性衝突が増加した事と電子-電子衝突により高エネルギー部の増加により、直接励起損失が増加したためと考えられる。この傾向は、 E/P や P を変えても同様であった。

次に、得られた分布関数を用いて、準安定原子密度を求めた。 $P=1.0(\text{Torr.})$ の時の放電電流依存性を図5に示す。また、図6にその時の各種の電子衝突周波数を示す。これらよりグロー放電陽光柱プラズマの電界・電流特性を求めた結果が図7である。ここで、破線は準安定原子密度 $N_1 = 10^{-6} N_0$, $N_3 =$

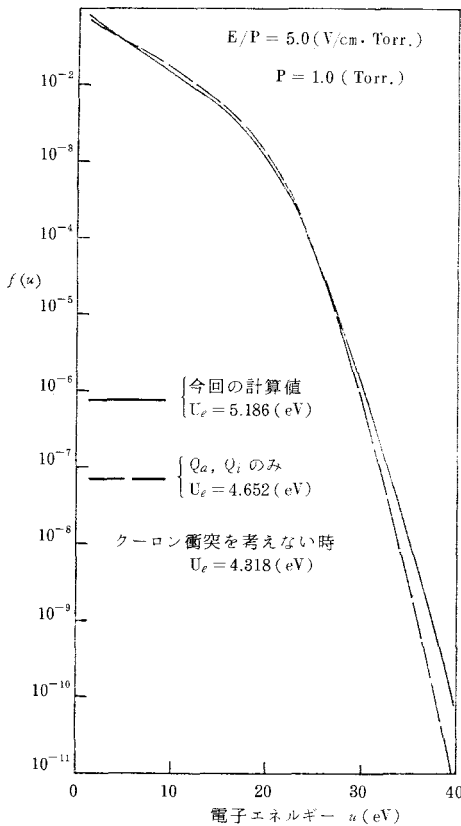


図3 電子エネルギー分布関数、累積励起、累積電離、クーロン衝突の効果

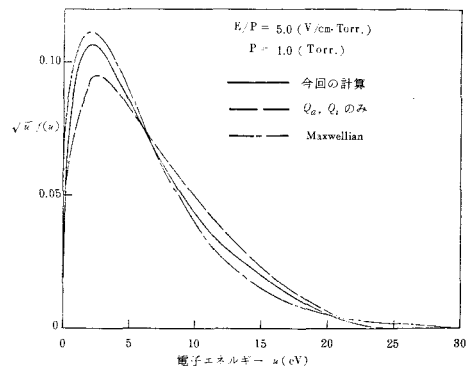


図4 電子エネルギー分布関数、第一励起エネルギー以下の領域の分布関数の相違

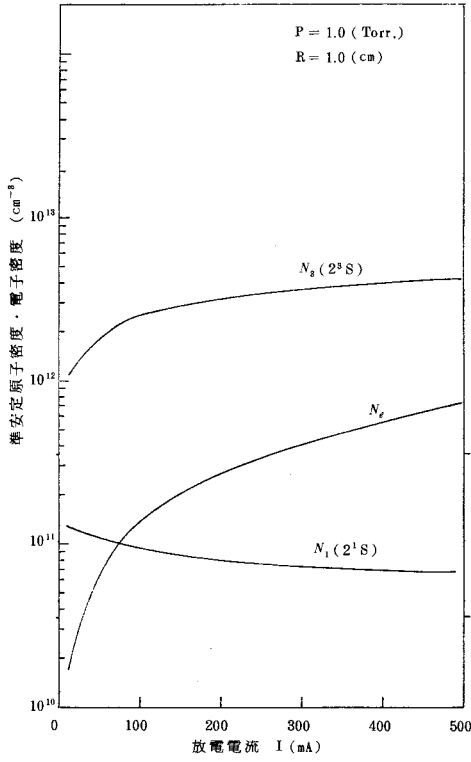


図5 準安定原子と電子の密度の電流依存性

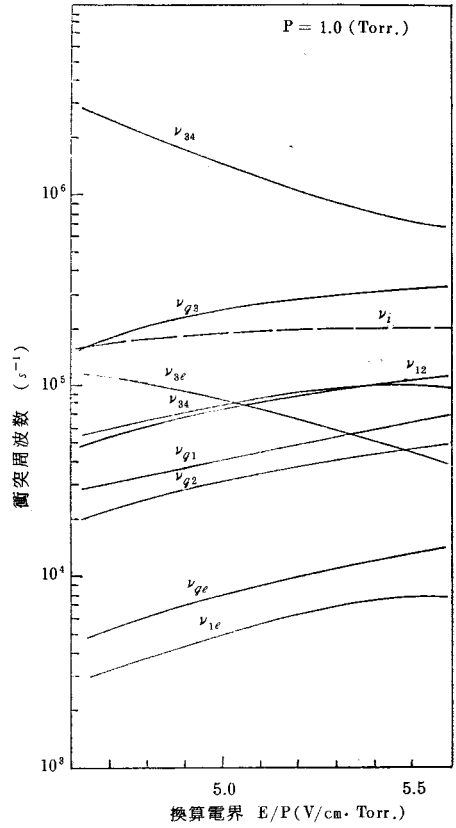


図6 各種衝突周波数と換算電界の関係

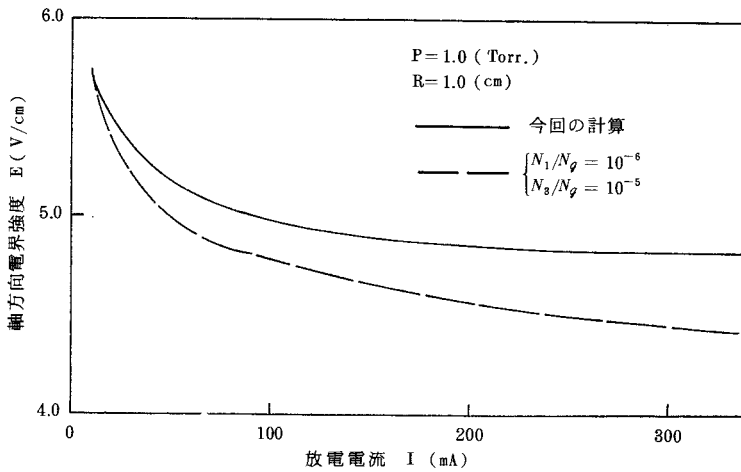


図7 陽光柱の電界・電流特性

$10^{-5}N_0$ とした場合の計算値である。図5の密度と比較すると非常に少ない密度である。ところで、粒子数平衡式を解く時に(13)式から 2^1S からの電離項無視の近似について吟味してみる。図6より ν_{1e}/ν_{3e} を求めると $E/P = 4.7 \sim 5.6$ (V/cm · Torr.) の変化に対し約 $0.03 \sim 0.2$ の値である。これから考えると E/P が高い場合にはこの近似が悪くなる。一方、全電離周波数を次式で定義すると、

$$\nu_i = \nu_{qe} + \nu_{1e} + \nu_{3e} + Z_p N_3^2 / N_e \dots\dots\dots (40)$$

その値は、図6に破線で示してあるように、 E/P の増加により増加するが、その変化量は非常に少ない。 E/P が高くなると直接電離の数は増加し、準安定原子同士の衝突電離は、 E/P の増加により、その密度が減少するため、電離数は減少する。また累積電離は、分布関数の累積励起に関係するエネルギー領域の電子数が減少するため、減少する。 $(\nu_{3e} + \nu_{1e})$ その結果 E/P の大きな所では、累積電離よりも直接電離の方が決定的な役割を果すようになる。この事から、この領域ではかなりよい近似となると考えられる。

電界・電流特性においては、準安定原子密度が少い方が同じ放電電流では、小さな電界でよい事がわかる。この理由は、次のように考える事ができる。累積電離周波数は、直接電離周波数に比べ非常に大きい。(図6) 同一放電電流での分布関数は、直接電離の始まるエネルギー以上では、今回の計算値の方が大きい。図8に同一放電電流、同一気圧での分布関数を示す。しかし、累積電離の発生するエネルギー領域では、逆に今回の計算値の方が小さくなっている。この時準安定原子密度比は 2^3S について6倍になっているが、累積電離を起しうる電子数が少いため、結局累積電離周波数が低くなり、同一電流を得るためには、または電離数を増やすためには、直接電離がその役割を果す事となる。分布関数の高エネルギー部の増加は、 E/P の増加に伴うことがわかっている¹⁾ので、より大きな E/P または入力を外部より加える事により同一放電電流に維持される。

準安定原子密度についてみると(図5)、 2^3S は 2^1S に比べほぼ10倍程度多く存在する。これは 2^1S が共鳴準位 2^1P と強く結びついている ($U_{12} = 0.6\text{eV}$) 事による。電流の増加とともに、 2^3S はゆるやかに増加する。一方 2^1S の方は、逆に減少していく。電流の増加と同時に E/P は減少し、分布関数は低エネルギー部が増加しその結果累積励起が増加し 2^1S は 2^1P に励起されやすくなり、 2^1P の共鳴放射による損失とともに 2^1S の密度は減少する。 2^3S についても同様に考えられるが、 2^3P は、基底準位へ光放射で遷移しないため準安定 2^3S にもどり全体としてその密度は少しずつ増加する。実際には、三重項と一重項の間の電子衝突等も考慮に入れてより詳しい遷移関係を考える必要がある。気圧の異なる場合にも同様の結果が得られる。ただし、 2^1S については気圧が低くなり、 E/P が高い場合には直接励起が増加すると同時に、累積励起が減少するため、密度の極大値をもつようになる。($P < 0.4\text{Torr.}$)

準安定原子密度の気圧依存性を図9に示す。放電電流 $I = 100$ (mA) としている。図をみると、 2^3S は 1 (Torr.) 付近に最大値となり気圧の増加とともに減少してゆく。 2^1S は急激に気圧とともに減少している。電子密度も示しておいたが、これは気圧とともに増加している。これは、気圧の増加により移動速度が減少し同じ放電電流のためには電子密度が変化する。丸印で示した R. Mewe⁵⁾ による測定値と比較すると定性的には合っているが、計算値の方が少し大きい。

等価的電子温度 U_e と PR の関係を図10に示す。破線と一点鎖線は、それぞれ Schottky の理論と Tonks, Langmuir の理論による曲線である。両

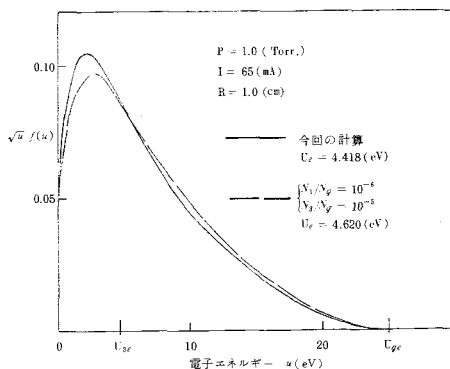


図8 同一放電電流における、準安定原子密度が異なる場合の分布関数の相違

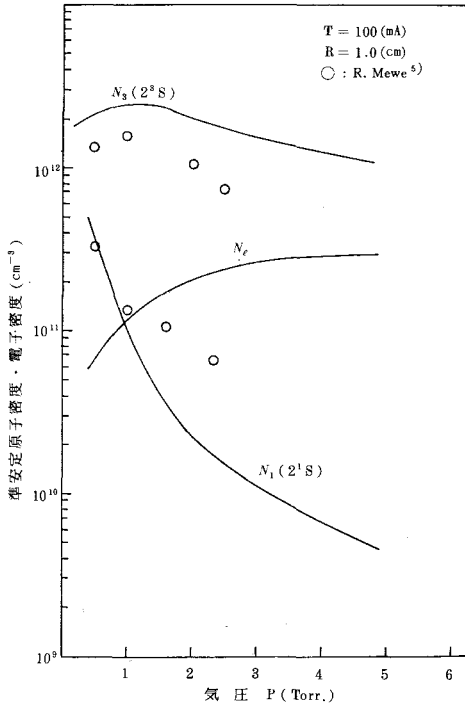


図9 準安定原子と電子密度の気圧依存性

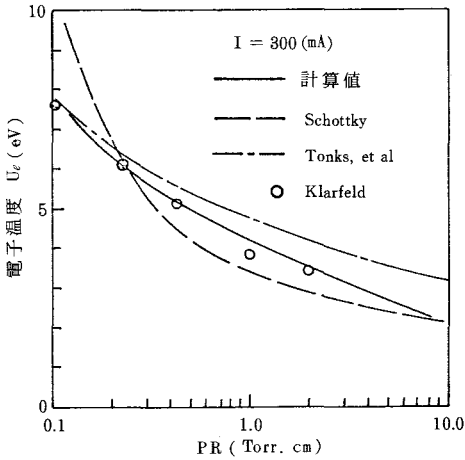


図10 電子温度のPR依存性

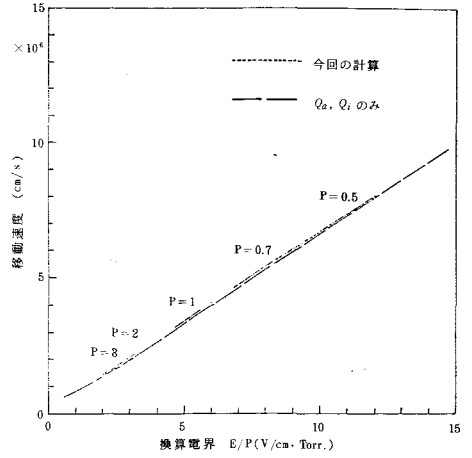


図11 移動速度と換算電界の関係

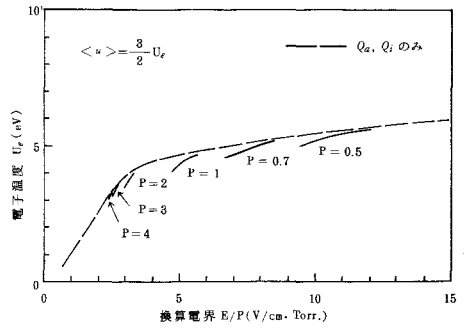


図12 電子温度と換算電界の関係

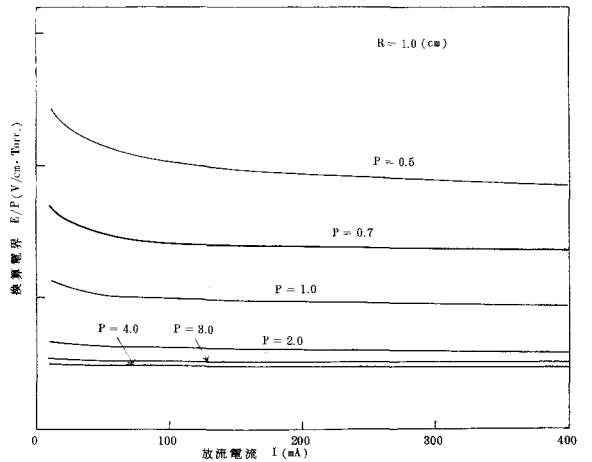


図13 陽光柱の換算電界・電流特性

者共、Maxwell 分布を仮定して計算しておりそれぞれ、両極性拡散と自由落下に基づいている。今回の分布関数を考慮して行った計算結果は、実線で示されている。丸印は、実験的に Klarfeld が求めた値である ($I=300$ (mA))。計算結果は、実験結果と比較的によく合っている。本計算では、両極性拡散を仮定しているため Schottky 理論と同様に PR の小さな所でずれてくるが、PR が 0.2 以上では、実験値により近い、よい結果となっている。

移動速度と換算電界、および電子温度と換算電界の関係を図11と図12にそれぞれ示す。移動速度は、前回の計算の場合とほとんど一致し、破線で示したのが直接励起・電離のみ考慮した場合である。今回の計算では、累積効果のため少し速度が大きくなっている。

図12中の破線は、上と同様にして求めた電子温度 U_e である。実線で示したものが今回の計算結果である。電流の増加とともに、電界が小さくなり、準安定原子密度 (2^3S) は増加し累積電離が起りやすくなり電子温度が低下してくる。その低下の割合は、電流が増すほど多くなっている。図11、図12で今回の計算値が不連続となるのは、グロー放電陽光柱の放電電流を制限して考えているためである。

図13に換算電界と放電電流の関係を示す。グロー放電陽光柱の電流・電界特性は一般に負特性である。この図を見ると、小電流領域で特に気圧の低い場合にその傾向が著しい。また、グロー放電の特徴である、電流変化に対し電界がほぼ一定となる事も確かめられた。

§ 5 まとめ

Boltzman 方程式から導出した電子エネルギー分布関数を用い、ヘリウムグロー放電陽光柱について解析を行った。

$E-I$ 特性や U_e-PR 特性等かなりよい結果が得られた。しかし各種粒子密度等の実測値との比較ができれば、より詳しい衝突過程の考慮が可能になると考えられる。

問題点として、(1)衝突断面積、(2)径方向の不均一性の分布関数への影響、(3)粒子の径方向分布の近似、(4)原子励起準位数の詳しい考慮等が挙げられる。

最後に、計算機の利用に便宜をはかっていたいただいた計算機室の町田勝吉氏に感謝の意を表わす。

参考文献

- 1) 山崎：呉高専研究報告第16巻1号(1980)65
- 2) LaVerne A. Schlie: J. Appl. Phys. 47(1976)1397
- 3) 電気学会：放電ハンドブック(1973)オーム社
- 4) K. Masek, T. Ruzicka: Czech. J. Phys. B21(1971)43
- 5) R. Mewe: Physica 47(1970)373
- 6) S. J. B. Corrigan, A. von Engel: Proc. Phy. Soc. London 72(1958)786
- 7) A. V. Phelps: Phys. Rev. 99(1955)1307
- 8) A. V. Phelps, J. P. Molnar: Phys. Rev. 89(1952)1202
- 9) 土手, 島田：プラズマ研究会資料 E P-78-80 (1978), 電気学会
- 10) M. Schaper, H. Scheibner: Beitr. Plasmaphys. 9(1969)45
- 11) A. J. Postma: Physica 45(1970)609

(昭和55年10月15日受付)

単純支持梁の曲げ応力波に関する 数値解析法について

(土木工学科) 久 良 喜代彦

A Numerical Solution for Flexural Wave Propagation in Simply Supported Beams.

Kiyohiko KURŌ

A numerical solution of the finite element method is presented for flexural wave propagation in a uniform, simply supported beam resulting from transverse impact of a sphere at the mid-point according to the Bernoulli-Euler's equation.

A comparison is made of the solutions and the experimental results.

§ 1 まえがき

梁の横衝撃は普通、初歩的な理論によって導かれた Bernoulli-Euler 型の微分方程式を用いるか、又はより厳密な理論による Timoshenko 型の微分方程式を用いるかのいずれかの方法によって解かれている。¹⁾

初歩的な波動理論も応力波の持続時間が $100 \mu\text{sec}$ 以上になると曲げ応力の解析には充分であると云われている。

これまで、梁に鋼球を落下させて横衝撃を加える場合、又は衝撃点に一定の変位速度を持続させる場合等について Bernoulli-Euler 式を用いて解が得られている。²⁾

鋼球を落下させる場合、鋼球と梁の接触について Hertz の理論が適用されており、²⁾ その結果については衝撃によって、かなりの永久歪みが生ずるような場合にも充分良好な結果が得られている。

本研究では Bernoulli-Euler 式を従来主として行われて来た振動形解析法を用いて解くかわりに、Bernoulli-Euler 式を 1 次の微分方程式群に分解し、その各々を差分式に転化して得られる 1 次方程式群を解く方法を開発し、これを単純支持梁のスパン中央に鋼球を落下させて横衝撃を加える場合に適用し、⁴⁾ 実験結果および振動形解析法による理論解と比較することにより本研究によって得られた数値解析法の適用性について検討しようとするものである。⁵⁾

なお、鋼球と梁の接触については Hertz の理論を用いることにする。

§ 2 記号

A 断面積 (cm^2)	Δx 梁の分割長 (cm)
α 接近距離 (cm)	Δt 時間間隔 (sec , μsec)
b 梁の幅 (cm)	E 弾性係数 (kg/cm^2)

E_1, E_2 それぞれ鋼球および梁の弾性係数 (kg/cm ²)	ϕ 鋼球の直径 (cm)
F 鋼球と梁との間の接触力 (kg)	ϕ_c 臨界比
γ_1, γ_2 それぞれ鋼球および梁の単位体積重量(kg/cm ³)	Q せん断力 (kg)
g 重力の加速度 (cm/sec ²)	R 鋼球の半径 (cm)
h 梁の厚さ (cm)	r 鋼球を表わす添字
I 梁の断面2次モーメント (cm ⁴)	σ 曲げ応力 (kg/cm ²)
i 梁の各部分を表わす添字	θ 梁のたわみ角
k Hertz の定数	t 時間 (sec)
l 梁のスパン (cm)	τ' 梁の内部摩擦係数 (sec)
M 曲げモーメント (kg-cm)	v 変位速度 (cm/sec)
μ_1, μ_2 それぞれ鋼球および梁のポアソン比	W 重量 (kg)
n 時間間隔に付した番号	x 梁の横座標 (cm)
n_{max} n の最大値	y 鉛直方向変位 (cm)
nd 梁の分割数	$()_n$ 時間間隔 n における変化量
p 梁の支点部分を表わす添字 (i の最大値)	

§ 3 Bernoulli-Euler 式

曲げ振動に関する Bernoulli-Euler の微分方程式は一様断面の梁については次式で与えられる。

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

この式は次のようにして導かれる。図1に曲げ振動をする梁の一部分を示す。梁要素の左断面に作用する曲げモーメントおよびせん断力を M, Q 。右断面に作用する曲げモーメントおよびせん断力を $M + \frac{\partial M}{\partial x} \cdot dx, Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot dx$ とする。梁要素の回転慣性およびせん断歪みを無視すると、次の関係式が得られる。

i A点のまわりのモーメントの釣合い式を立てると、

$$-M + \left(M + \frac{\partial M}{\partial x} \cdot dx \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dx = 0$$

$$\text{これより, } \frac{\partial M}{\partial x} = Q \quad (2)$$

ii 鉛直方向の運動方程式を立てると、

$$-Q + \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot dx \right) = \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot dx \cdot \frac{\partial v}{\partial t}$$

$$\text{これより, } \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \quad (3)$$

ここで、梁要素の変位を y とすると、

$$v = \frac{\partial y}{\partial t} \quad (4)$$

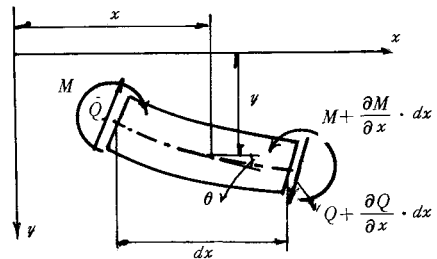


図1 梁要素

iii 曲げによって生ずるたわみ角を θ とすると、次の適合条件式が成立する。

$$M = -E \cdot I \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \tag{5}$$

$$\theta = \frac{\partial y}{\partial x} \tag{6}$$

(4)式を(3)式に代入すると

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{r}{q} \cdot A \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \tag{a}$$

(6)式を(5)式に代入すると、

$$M = -E \cdot I \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \tag{b}$$

(2)式の両辺を x で微分すると、

$$\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} = \frac{\partial Q}{\partial x} \tag{c}$$

(a), (b)両式を(c)式に代入すると、

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{r}{q} \cdot A \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \tag{1}$$

つまり Bernoulli-Euler 式が得られた。

§ 4 鋼球の梁におよぼす接触力

曲げ振動方程式(1)は衝撃子によって梁の接触点に作用する力 F が与えられれば横衝撃の問題に用いることができる。

鋼球を梁の上に落下させる場合、鋼球の梁におよぼす接触力 F は Hertz の接触理論によると次式で与えられる。

$$F = k \cdot \alpha^{\frac{3}{2}}, \quad \alpha \geq 0 \tag{7}$$

ここに k は Hertz の定数で、球と平面とが接触する場合には次式で与えられる。

$$k = \frac{4}{3 \cdot \pi} \cdot \frac{\sqrt{R}}{\delta_1 + \delta_2}$$

ただし、 $\delta_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot E_1}$, $\delta_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{\pi \cdot E_2}$

一方、 α は接近距離 (approach) であり、衝撃後の鋼球および梁の接触点の変位をそれぞれ v_r, v_1 とすると次式で与えられる。(図 2)

$$\alpha = v_r - v_1 \tag{8}$$

接触力 F によって鋼球の速度 v_r は変化するが、その関係は次式で与えられる。

$$\frac{W_r}{q} \cdot \frac{dv_r}{dt} = -F \tag{9}$$

$$v_r = \frac{dy_r}{dt} \tag{10}$$

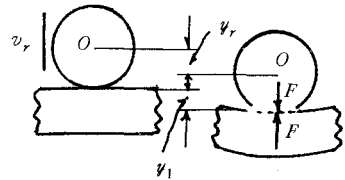


図 2 球と梁との接触

一方、接触点の変位速度 v_1 の変化は次式で与えられる。

$$\frac{F}{dx} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\tau}{g} \cdot A \cdot \frac{\partial v_1}{\partial t} \tag{11}$$

$$v_1 = \frac{\partial \psi_1}{\partial t} \tag{12}$$

つまり § 3 の(8)式は接触点を含む要素についてはその左辺に $\frac{F}{dx}$ が加わり(11)式のようなになる。(7)~(12)の各式を(1)式と総合して解くと、接触力 $F(t)$ が時間の関数として得られる。

§ 5 横衝撃の数値解析法

(1) 離散化モデル

本研究では曲げ振動の Bernoulli-Euler 式(1)を直接解くかわりに、これの基礎になっている1次の微分方程式群(2)~(6)の各々を差分式に転化して得られる1次方程式群を解くことにする。又、接触力に関連する微分方程式群(7)~(12)も同じように差分化する。

この計算目的のために、梁を図 3-1 のように剛体要素(質点)をばねで連ねたものとして表現する。このばねは曲げに対する弾性のみを表わすものとする。

次に衝撃後の経過時間を微小時間間隔 Δt に分割する。一つの時間間隔の間では力、変位、変位速度等の変量は一定であると見做すことにする。

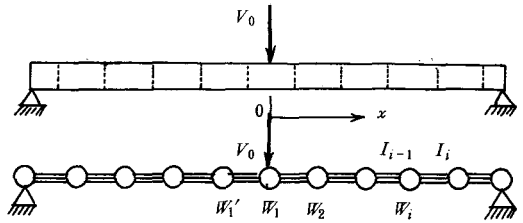


図 3-1 計算目的のための梁の表現

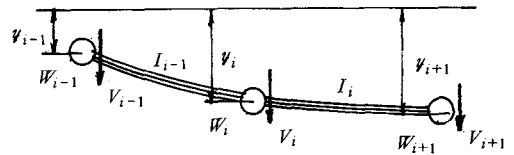


図 3-2

(2) Bernoulli-Euler 式の差分展開

§ 3 で述べた微分方程式群(2)~(6)をそれぞれ差分式に転化したものを(2)'; (3)'; (4)'; (5)'; (6)'として排列しなおすと次のようになる。

$$(\psi_i)_n = (\psi_i)_{n-1} + (v_i)_{n-1} \cdot \Delta t \tag{4}'$$

$$(\theta_i)_n = \frac{(\psi_{i+1})_n - (\psi_i)_n}{\Delta x} \tag{6}'$$

$$(M_i)_n = -E_i \cdot I_i \frac{(\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n}{\Delta x} \tag{5}'$$

$$(Q_i)_n = \frac{(M_{i+1})_n - (M_i)_n}{\Delta x} \tag{2}'$$

$$(v_i)_n = (v_i)_{n-1} + \frac{(Q_i)_n - (Q_{i-1})_n}{W_i} \cdot g \cdot \Delta t \tag{3}'$$

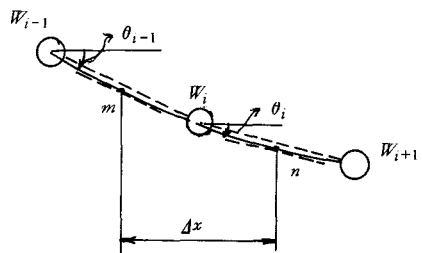


図 3-3

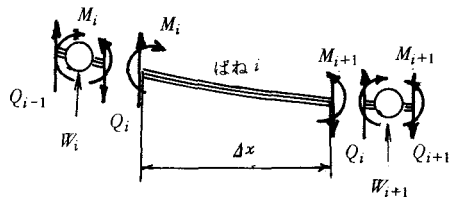


図 3-4

ここに $()_{n-1}$, $()_n$ はそれぞれ時間間隔 $n-1$, n における量であることを示す。又、添字 i は質点およびばねに付した番号を表わす。

上述の差分式は単に数学的に導かれたというだけ

でなく、その各々が力学的な内容を保持するものである。

時刻 $(n-1) \cdot \Delta t$ における質点 i の変位量を $(y_i)_{n-1}$ 、変位速度を $(v_i)_{n-1}$ とし、変位速度は Δt の時間間隔の間はこのままの値が保持されるとすると、時刻 $n \cdot \Delta t$ における変位量 $(y_i)_n$ は(4)' 式で与えられる。(図 3-2)

質点の変位によって生ずるばね i の部材角は(6)' 式で与えられる。

図 3-3 でばね $i-1, i$ の中点 m, n のたわみ角は近似的にばね $i-1, i$ の部材角に等しいと見做されるので $\frac{(\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n}{\Delta x}$ は質点 i をはさむ長さ Δx のばねのたわみ角の変化率を与えることになる。

したがって質点 i のまわりの曲げモーメント $(M_i)_n$ は(5)' 式で与えられる。

ばね i の両端のせん断力は大きさが等しく方向が反対であるのでこれを $(Q_i)_n$ とすると、 $(Q_i)_n$ は(2)' 式で与えられる。(図 3-4)

質点 i に作用する力は下向きに Q_i 、上向きに Q_{i-1} となるので、これらの力によって質点 W_i にもたらされる加速度は $\frac{(Q_i)_n - (Q_{i-1})_n}{W_i} \cdot g$ で与えられる。この加速度によって質点 i の速度は増加し、時刻 $n \cdot \Delta t$ における速度は(3)' 式で与えられることになる。ただし、鋼球と梁との接触点となる質点 1 ではせん断力のほかに接触力 F が加わるがこれについては後述する。

このようにして、上記の方程式群を上から順に解いて行くことにより、時間間隔 n における各要素ごとの変位、曲げモーメント、せん断力、変位速度等が得られることになる。

なお、(1) 式を直接差分展開すると、次のようになる。

$$E \cdot I \cdot \frac{(y_{i+2})_{n-1} - 4(y_{i+1})_{n-1} + 6(y_i)_{n-1} - 4(y_{i-1})_{n-1} + (y_{i-2})_{n-1}}{(\Delta x)^4} + \frac{\gamma}{g} \cdot A_i \cdot \frac{(y_i)_n - 2(y_i)_{n-1} + (y_i)_{n-2}}{(\Delta t)^2} = 0$$

一方、(2)' ~ (6)' 式からも上式が得られる。この意味からも(1) 式と(2)' ~ (6)' の各式は同値の関係にあると見做される。

(3) 接触力関連式の差分展開

接触力 F に関連する(7) ~ (12) の各式を差分化したものを(7)' ~ (12)' とし、次のように排列する。

$$(y_r)_n = (y_r)_{n-1} + (v_r)_{n-1} \cdot \Delta t \tag{10}'$$

$$(y_1)_n = (y_1)_{n-1} + (v_1)_{n-1} \cdot \Delta t \tag{12}'$$

$$(\alpha)_n = (y_r)_n - (y_1)_n \tag{8}'$$

$$(F)_n = k \cdot \left\{ (\alpha)_n \right\}^{\frac{3}{2}}, \quad (\alpha)_n \geq 0 \tag{7}'$$

$$(v_r)_n = (v_r)_{n-1} - (F)_n \cdot \frac{g}{W_r} \cdot \Delta t \tag{9}'$$

$$(v_1)_n = (v_1)_{n-1} + \frac{(F)_n + (Q_1)_n - (Q_1)'_n}{W_1} \cdot g \cdot \Delta t \tag{11}'$$

上記の方程式群を上から順に解いて行くことにより、接触力 $(F)_n$ および質点 1 の変位速度 $(v_1)_n$ が得られる。

(4) 条件式

- a. 初期条件 鋼球の衝撃速度を v_0 とすると, $(v_r)_0 = v_0$
 b. 境界条件 支点では曲げモーメントおよび変位が 0 であることから,

$$(v_p)_n = 0, \quad (M_p)_n = 0$$

載荷点 (質点 1) をスパン中央とすると、梁および荷重が左右対称ということから、計算はスパン中央から左の部分についてのみ行うことにする。この場合、

$$(Q_1)'_n = -(Q_1)_n, \quad (\theta_1)'_n = -(\theta_1)_n$$

- c. その他の補正

i 梁の内部摩擦 梁の内部摩擦による応力波の減衰を考慮する場合には減衰を表わす力学的モデルを導入する。本研究では Voigt 型の減衰モデルを用い、(5)' 式のかわりに次式を用いることにする。

$$(M_i)_n = -\frac{E \cdot I_i}{4x} \left[(\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n + \frac{\tau'}{4t} \left\{ ((\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n) - ((\theta_i)_{n-1} - (\theta_{i-1})_{n-1}) \right\} \right] \quad (5)''$$

τ' : 内部摩擦係数 (sec)

ii 衝撃子の弾性 本解法は鋼球でなくても、衝撃端面が球状の衝撃子に対しても適用出来る。しかし、衝撃子が鉛直方向に長い場合には衝撃子の弾性を考慮する必要がある。

この場合は衝撃子も梁のように剛体要素をばねで連結したものとして表現する。ただし、このばねは軸方向の伸縮に対する弾性を表わすものとする。

(5) 計算プログラム

上記の各差分式(2)'~(12)'および各種条件式を総合すると、次のような計算プログラムが得られる。

$$\boxed{nd, n_{\max}, \Delta t}$$

$$\boxed{R, v_0, E_1, \gamma_1, \mu_1}$$

$$\boxed{b, h, l, E_2, \gamma_2, \mu_2}$$

$$\boxed{\tau'}$$

$$p = \frac{nd}{2} + 1$$

$$A = b \cdot h$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$\Delta x = \frac{l}{p-1}$$

$$\delta_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot E_1}$$

$$\delta_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{\pi \cdot E_2}$$

$$k = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{\sqrt{R}}{\delta_1 + \delta_2}$$

$$W_r = \gamma_1 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$$

$$W_i = \gamma_2 \cdot A \cdot \Delta x, \quad (i = 1, 2, \dots, p-1)$$

$$W_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot A \cdot \Delta x$$

$$\begin{aligned}
 (\psi_r)_0 &= 0 \\
 (\psi_i)_0 &= 0, \quad (i=1, 2, \dots, p) \\
 (v_r)_0 &= v_0 \\
 (v_i)_0 &= 0, \quad (i=1, 2, \dots, p) \\
 (\theta_i)_0 &= 0, \quad (i=1, 2, \dots, p-1) \\
 n &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\psi_r)_n &= (\psi_r)_{n-1} + (v_r)_{n-1} \cdot \Delta t \\
 (\psi_i)_n &= (\psi_i)_{n-1} + (v_i)_{n-1} \cdot \Delta t, \quad (i=1, 2, \dots, p) \\
 (\alpha)_n &= (\psi_r)_n - (\psi_1)_n \\
 (\alpha)_n > 0 \text{ ならば } (F)_n &= k \cdot \{(\alpha)_n\}^{\frac{3}{2}} \\
 (\alpha)_n \leq 0 \text{ ならば } (F)_n &= 0 \\
 (\theta_i)_n &= \frac{(\psi_{i+1})_n - (\psi_i)_n}{\Delta x}, \quad (i=1, 2, \dots, p-1) \\
 (M_1)_n &= -\frac{2 \cdot E \cdot I}{\Delta x} \cdot \left[(\theta_1)_n + \frac{\tau'}{\Delta t} \{(\theta_1)_n - (\theta_1)_{n-1}\} \right] \\
 (M_i)_n &= -\frac{E \cdot I}{\Delta x} \cdot \left[(\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n + \frac{\tau'}{\Delta t} \{((\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n) - ((\theta_i)_{n-1} - (\theta_{i-1})_{n-1})\} \right] \\
 &\quad, \quad (i=2, 3, \dots, p-1) \\
 (M_p)_n &= 0 \\
 (\sigma_i)_n &= \frac{(M_i)_n}{I} \cdot \frac{h}{2}, \quad (i=1, 2, \dots, p) \\
 (Q_i)_n &= \frac{(M_{i+1})_n - (M_i)_n}{\Delta x}, \quad (i=1, 2, \dots, p-1) \\
 (v_r)_n &= (v_r)_{n-1} - \frac{(F)_n \cdot g \cdot \Delta t}{W_r} \\
 (v_1)_n &= (v_1)_{n-1} + \frac{2(Q_1)_n + (F)_n}{W_1} \cdot g \cdot \Delta t \\
 (v_i)_n &= (v_i)_{n-1} + \frac{(Q_i)_n - (Q_{i-1})_n}{W_i} \cdot g \cdot \Delta t, \quad (i=2, 3, \dots, p-1) \\
 (v_p)_n &= 0
 \end{aligned}$$

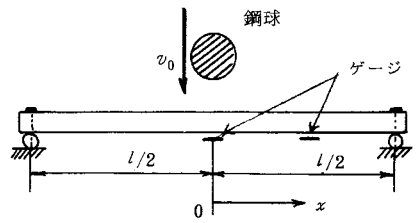
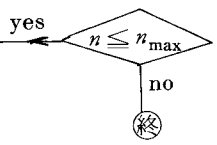
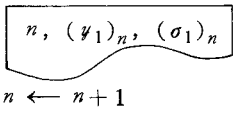


図4 実験梁

§ 6 衝撃実験

角鋼梁の両端を単純支持し、梁のスパン中央およびスパン中央から 7.5 cm ずつ離れた位置の下縁に共和ゲージ K10A1 1枚を貼布した。(図4) 梁のスパン中央に鋼球を落下させて、ゲージ貼布位置の歪み波形をデュアルビームシンクロスコープ DS 5016 で観測した。実験に用いた梁および鋼球は次の通りである。

$\left\{ \begin{array}{l} \text{梁の幅 } b = 1 \text{ cm, 梁の厚さ } h = 1 \text{ cm} \\ \text{ } \text{ } b = 1.2 \text{ cm, } \text{ } \text{ } h = 2.48, 3.25 \text{ cm} \end{array} \right.$
 梁のスパン $l = 15, 30, 60 \text{ cm}$
 鋼球の径 $\phi = 14, 19, 28.4, 42, 50.8 \text{ mm}$
 なお、鋼球の落高 h_r は $10, 40, 80 \text{ cm}$ とした。
 上記の実験諸元の種々の組合せについて衝撃実験を行った。実験結果として得られた曲げ応力の実測波形の一部を写真1に示す。

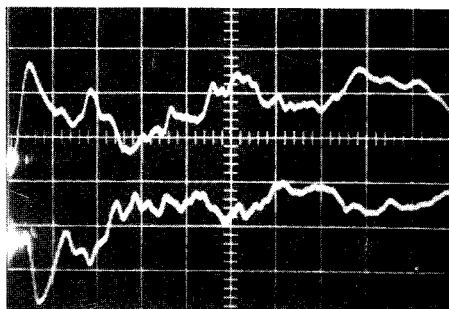


写真1 $b \quad h \quad l$
 $1.2 \text{ cm} \times 2.48 \text{ cm} \times 59 \text{ cm}$ 角梁
 $\phi = 50.8 \text{ mm}, h_r = 10 \text{ cm}$
 上 $x=0$, 下 $x=1/4l$ 位置応力波形
 縦 $350 \text{ kg/cm}^2/\text{div.}$, 横 $0.2 \text{ msec}/\text{div.}$

§ 7 計算結果およびその検討

(1) 計算例

幅 1 cm , 厚さ 1 cm , スパン 30 cm の角鋼梁のスパン中央に直径 19 mm の鋼球を落高 44.6 cm で落下させた場合について本解法を適用する。計算データは次の通りである。

- 梁分割数 $nd = 40$ n の最大値 $n_{\max} = 500$
- 時間間隔 $\Delta t = 0.000001 \text{ sec}$ 鋼球の半径 $R = 0.95 \text{ cm}$
- 鋼球の衝撃速度 $v_0 = \sqrt{2 \times 980 \times 44.6} = 298.6 \text{ cm/sec}$
- 梁の幅 $b = 1 \text{ cm}$ 梁の厚さ $h = 1 \text{ cm}$ 梁のスパン $l = 30 \text{ cm}$
- 鋼球および梁の弾性係数 $E_1 = E_2 = 2100000 \text{ kg/cm}^2$
- " 単位重量 $\gamma_1 = \gamma_2 = 0.00785 \text{ kg/cm}^3$
- " ポアソン比 $\mu_1 = \mu_2 = 0.29$
- 梁の内部摩擦係数 $\tau' = 0.0, 0.000001 \text{ sec}$

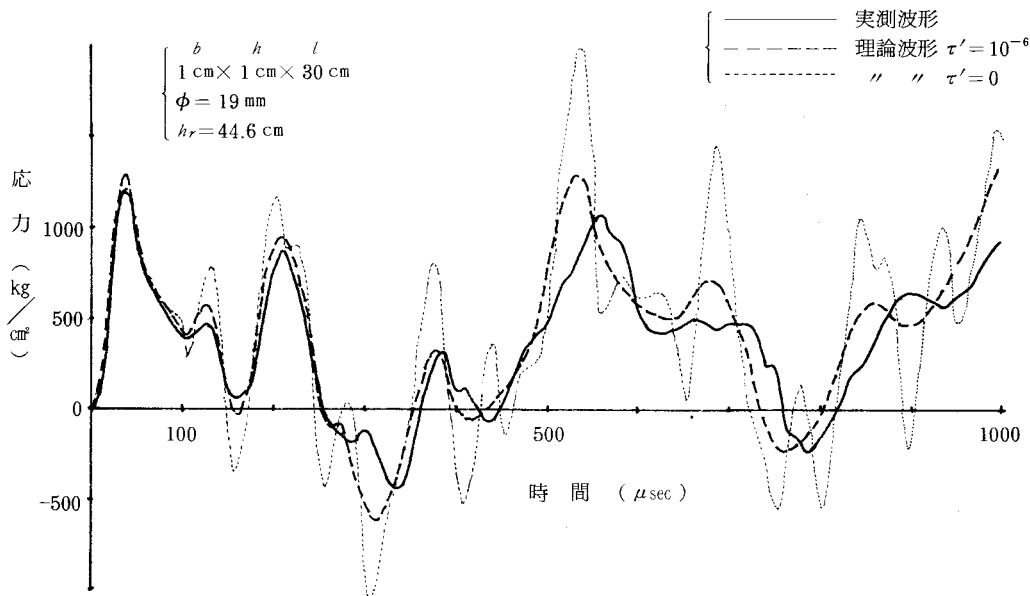


図5-1 理論波形と実測波形との比較
 (スパン中央下縁曲げ応力)

計算結果として得られた梁下縁の曲げ応力の理論波形およびこの場合の実測波形を図5-1に示す。

(2) 計算結果の検討

種々の場合について本解法による理論解と実測波形とを比較すると図5、図6のようになる。これら

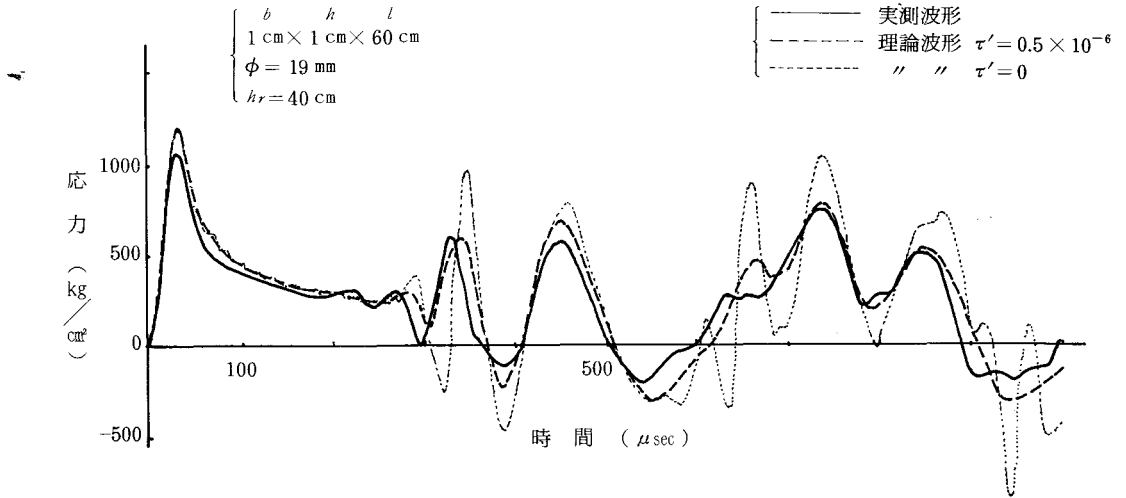


図5-2 理論波形と実測波形との比較
(スパン中央下縁曲げ応力)

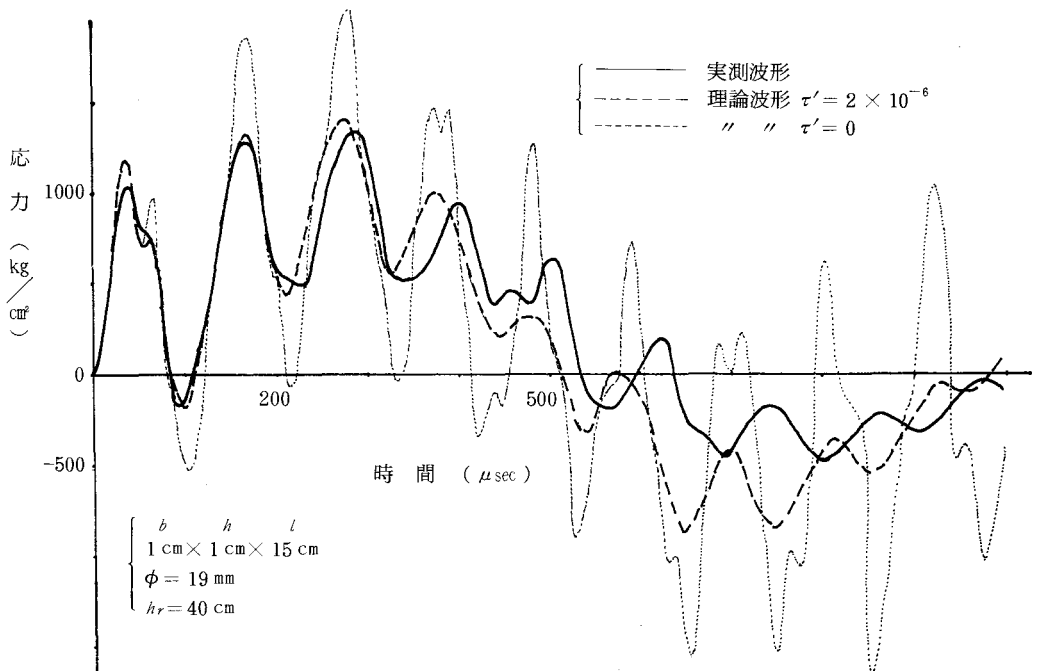


図5-3 理論波形と実測波形との比較
(スパン中央下縁曲げ応力)

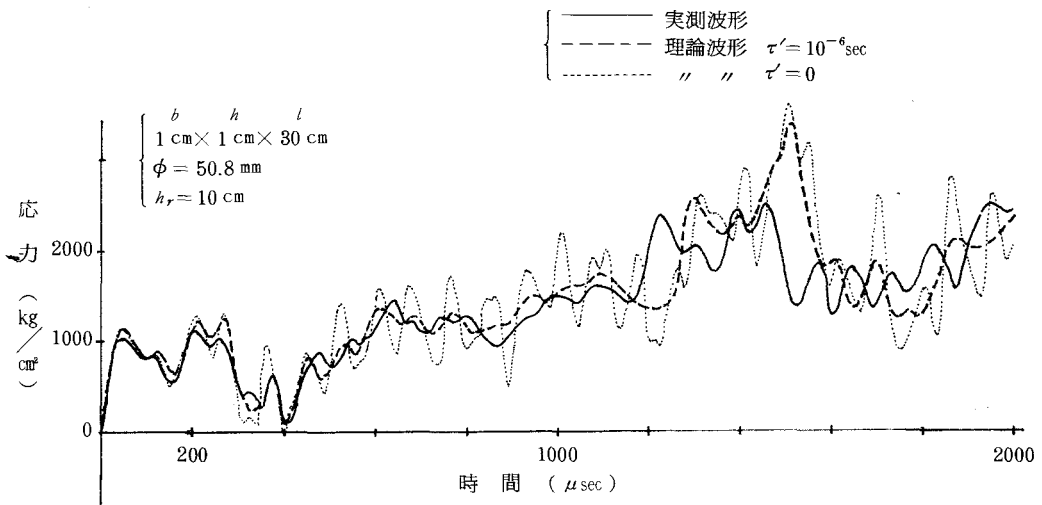


図 6-1 理論波形と実測波形との比較

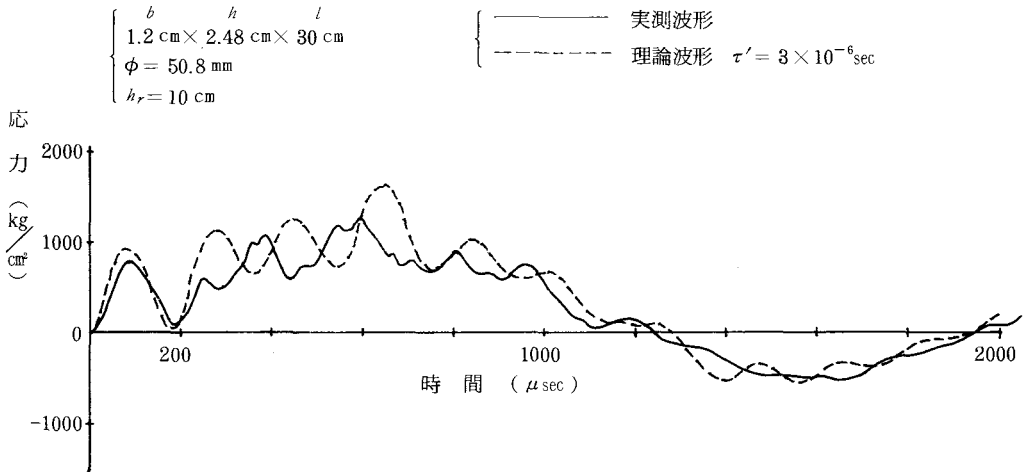


図 6-2 理論波形と実測波形との比較

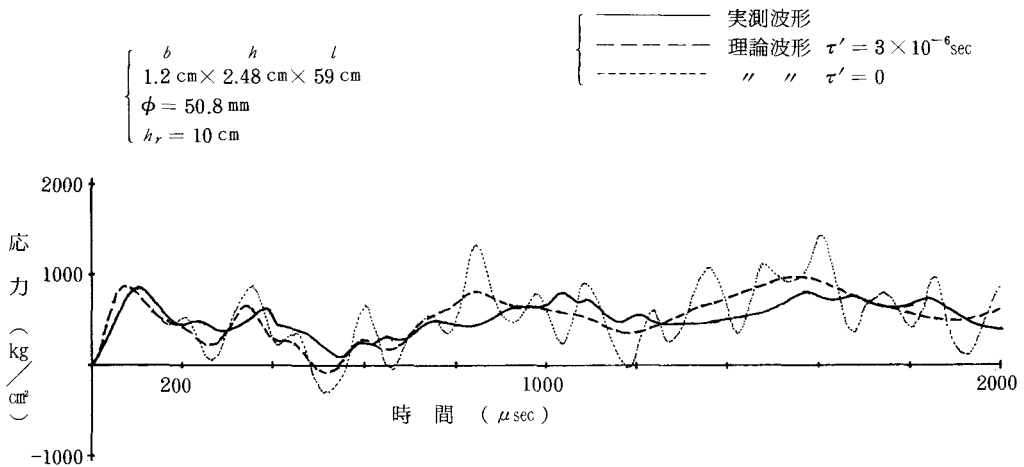


図 6-3 理論波形と実測波形との比較

の結果から本解法の適用性について検討して得られた結論の主なものは次のとおりである。

- i 減衰を考慮しない場合でも初期の立上り部分では理論応力波形は実測波形に大略一致したが、その後においてはかなりの開きが出て来ている。
 - ii 減衰を考慮することによって、少くとも衝撃直後では、理論波形を実測波形に近づけることが出来るように思われる。
 - iii 本解法による解は振動形解析法による Bernoulli-Euler 解と大略一致した。又、より厳密な解である Timoshenkō 解に近い結果が得られた。
 - iv ただし、梁の断面がスパンに比して大きくなるにつれて、応力波形に含まれる高周波分については、理論波形と実測波形との間のずれが目立って来ている。
- しかし、本解法は衝撃直後の過渡現象の追跡には充分用いることが出来るものと思われる。

§ 8 諸定数の検討

(1) 梁分割数および時間間隔

梁分割数 nd が小さくなりすぎると、結果の適合性は悪くなる。本研究では $nd \geq 20$ とした場合に一応、妥当な結果が得られた。

時間間隔 Δt は梁分割長 $\Delta x (= l/nd)$ と密接に関係しており、 Δx を小さくするときには、それに応じて Δt を小さくする必要がある。 $\phi_r = \Delta x / (C \cdot \Delta t)$ を臨界比と呼ぶことにすると、安定した計算結果を得るためには $\phi_r > 1$ にしなければならない。しかし、減衰を考慮する場合、又は梁の寸法によっては ϕ_r をかなり大きくとる必要がある。

本研究で用いた時間間隔 Δt は $0.5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-6}$ sec であり、臨界比 ϕ_r は 1.5 ~ 11.8 であった。(表 1)

表 1 実験諸元, 計算に用いた諸定数, 臨界比, 固有周期

梁 寸 法 $b \times h \times l$ (cm)	球 径 ϕ (mm)	落 高 h_r (cm)	梁 分 割 数 nd	時 間 間 隔 Δt (μ sec)	梁 内 部 摩 擦 係 数 τ' (μ sec)	臨 界 比 ϕ_r	梁 固 有 振 動 周 期 T (msec)
1 × 1 × 15	19	40	20	0.5	2	3	0.98
1 × 1 × 30	19	10,40,80	40	1	1	1.5	3.8
1 × 1 × 60	19	10,40,80	80	1	0.5	1.5	14.4
1 × 1 × 30	28.6	40	40	1	1	1.5	3.8
1 × 1 × 30	42.0	40	20	0.5	2	6	3.8
1 × 1 × 30	50.8	40	20	0.5	3	6	3.8
1.2 × 2.48 × 30	28.6	40	20	0.5	3	6	1.56
1.2 × 2.48 × 30	42.0	40	20	0.5	3	6	1.56
1.2 × 2.48 × 30	50.8	10	20	0.5	3	6	1.56
1.2 × 2.48 × 59	28.6	40	40	0.5	3	5.9	6.05
1.2 × 2.48 × 59	42.0	40	40	0.5	3	5.9	6.05
1.2 × 2.48 × 59	50.8	10	40	0.5	3	5.9	6.05
1.2 × 3.25 × 59	50.8	40	20	0.5	3	11.8	4.62

表1をみると、次のような場合には臨界比 ϕ_r を大きくする必要があるように思われる。

i 内部摩擦係数 τ' を大きく仮定する。

ii 梁のスパン l が小さい。

iii 梁の厚さ h が大きい。

iv 梁の第1次固有振動周期 $T \left(= \frac{2 \cdot l^2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot A}{\rho \cdot E \cdot I}} \right)$ が小さい。

(2) 内部摩擦係数 τ'

本研究における実験の範囲では表1に見るように τ' を $0.5 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ sec 程度にしたときに良好な結果が得られた。

表1に見るように、他の条件が同じである場合には、梁のスパン l が大きい場合には τ' は小さくすむところから、減衰の原因は梁材料の内部摩擦よりも支点におけるエネルギー逸散によるところが大きいと思われる。

§ 9 あとがき

本研究で得られた主要な結論は次の通りである。

i 本解法の適用性については、梁断面が梁のスパンに比して大きい場合には多少問題はあるが、本解法は衝撃直後の過渡現象の追跡には充分用いることが出来るものと思われる。

ii 応力波の減衰は梁材料の内部摩擦よりも、むしろ支点におけるエネルギー逸散によるところが多いように思われる。

iii 本研究では時間間隔 Δt を $0.5 \sim 1 \mu\text{sec}$ 、梁分割数 nd を $20 \sim 40$ 程度にしたときに良好な結果が得られた。

参考文献

- 1) Abramson, H. N., H. J. Plass and E. A. Ripperger, : Stress Wave Propagation in Rods and Beams, Adv. Applied Mechanics, 5, New York, Academic Press, Inc., 1958. pp. 111-194.
- 2) Goldsmith, W. : Impact, Arnold, London, 1960.
- 3) Duwez, P. E, D. S. Clark, and H. F. Bohnenblust : The Behavior of Long Beams under Impact Loading, Journal of Applied Mechanics, March 1950, pp. 27-34.
- 4) Smith, E. A. L. : Pile Driving Analysis by the Wave Equation, ASCE, Aug. 1960.
- 5) 久良喜代彦 : 梁の曲げ応力波に関する振動形解析法について, 呉高専研究報告, 16巻1号, 1980.

(昭和55年10月15日受付)

模擬地震波による建物の弾塑性応答特性

(建築学科) 門 前 勝 明
 (柄谷工務店) 春 藤 久 直
 (大和土木建築) 松 本 裕 二

Inelastic Response Property of Structure to Simulated Earthquake Motion

Katsuaki MONZEN
 Hisanao SYUNTOH
 Yuuji MATSUMOTO

In view of the recent trend in which numerical analysis of dynamic structural response to artificial ground motion is becoming more and more routine, inelastic response properties of single degree of freedom systems subjected to simulated earthquake motions are described. Earthquake accelerations are simulated by a series of cosine function with random phase. Power spectral density suggested by Tajimi and power spectral density with two predominant periods are used. Restoring force characteristics of structural model used in this investigation are elastoplastic model and stiffness degrading model. Utilizing inelastic response properties, the characteristic of simulated earthquake motions is considered.

§ 1 はじめに

建物の耐震設計において、地震応答解析による安全性評価法は、今日、一般的になっている。地震応答解析に使用される地震波は、ほとんどの場合、過去の地震波に何らかの修正を加えたものが使用されている¹⁾。これらの実地震波を利用する難点は、その再現性である。既往の研究によれば、地震波は地震の規模、震源距離、地盤の動特性等の多くの原因に左右されることが知られている。さらに現在までに観測されている大地震の記録は数が限定されているため、適切な設計用地震波を過去の地震波から設定することは極めて困難である。上記の理由から、地盤の特性等を考慮した設計用地震波を、確率論的手法により模擬しようとする試みが進められている。この場合、模擬地震波の特性評価は、解析対象である建物の動特性、特に非線形応答性状との関連も含めて検討する必要がある。しかし、建物の非線形応答性状は複雑で未だ十分把握されていないことに関連して、模擬地震波の特性評価も十分検討されていないのが実状である。

著者は既報^{2),3)}で代表的な復元力モデルを有する1質点系建物の非線形応答特性について報告し、非線形応答性状を支配する入力波の特性について述べた。本報告は模擬地震波による1質点非線形建物の応答解析から、模擬地震波の性質について検討しようというものである。

§ 2 地震波の模擬手法に関する既往の研究結果

地震動を確率過程とした場合のモデルは、ほとんどの場合、ガウス確率過程とポアソン確率過程に大別できる。本質的には、地震動はポアソン確率過程と考える方が妥当と思われるが、特に地震動—構造物の応答に限定すれば両者に顕著な差が認められないため、取り扱いの容易なガウス確率モデルが広く利用されている。従って本報もガウス確率モデルについて述べる。

地震加速度 $z(t)$ の最も簡単な模擬はホワイトノイズ(又は有帯幅のホワイトノイズ)である。Bycroft⁵⁾ はアナログ計算機を用いてホワイトノイズによる速度応答スペクトルをもとめ、Housner の平均速度応答スペクトルと比較することにより、地震加速度はホワイトノイズである程度模擬できることを示している。Rosenblueth と Bustamante⁶⁾ はホワイトノイズ(ショットノイズ型)に対する線形応答の確率分布を近似的にもとめている。

過去の地震波のパワースペクトル密度を算出すると、1つ乃至2つ以上のピークが認められる。Housner と Jennings は線形フィルターを利用して、これらの特性を $z(t)$ に取り入れた。線形フィルターの単位衝撃応答関数を $h(t)$ と表わせば、 $z(t)$ は次の様になる。

$$z_1(t) = \psi(t) \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau) n(\tau) d\tau \quad (1)$$

$$z_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau) \psi(\tau) n(\tau) d\tau \quad (2)$$

ここで、 $n(t)$: 平均値 0, パワースペクトル密度 S_0 のホワイトノイズ, $\psi(t)$: 確定関数
フィルターには 1 質点減衰系がよく利用されている。田治見は地盤を 1 質点系で置換し、ホワイトノイズ入力による質点の絶対加速度で $z(t)$ を模擬した。⁸⁾ この場合の $h(t)$ と $z(t)$ のパワースペクトル密度 $S(\omega)$ は次の様になる。

$$h_1(t) = \left\{ \omega_g^2 (1 - 2h_g^2) e^{-h_g \omega_g t} \sin \bar{\omega}_g t / \bar{\omega}_g + 2h_g \omega_g e^{-h_g \omega_g t} \cos \bar{\omega}_g t \right\} H(t) \quad (3)$$

$$S_1(\omega) = \frac{1 + 4h_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2}{\left\{ 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2 \right\}^2 + 4h_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2} S_0 \quad (4)$$

ここで、 ω_g, h_g : 1 質点系の固有振動数と減衰常数, $\bar{\omega}_g = \sqrt{1 - h_g^2} \omega_g$, $H(t)$: 単位ステップ関数
Housner と Jennings は $h_1(t)$, $S_1(\omega)$ ($h_g = 0.64$, $\omega_g = 15.556 \text{ rad/sec}$), $\psi(t)$ に次式を用いて $z_1(t)$ を模擬し、速度応答スペクトルをもとめている。

$$\phi_1(t) = H(t) - H(t - t_d) \quad (5)$$

さらに Jennings, Housner と Tsai⁹⁾ は $h_1(t)$, $S_1(\omega)$ 及び $\phi(t)$ に次式等 (Jenningsモデル) を用いて $z_2(t)$ を模擬している。

$$\phi_2(t) = \begin{cases} t^2/16 & 0 \leq t \leq 4 \\ 1.0 & 4 \leq t \leq 35 \\ \exp(-0.0357(t-35)) & 35 \leq t \leq 80 \\ 0.05 + 0.0000983(120-t)^2 & 80 \leq t \end{cases} \quad (6)$$

Ruiz と Penzien¹⁰⁾ は $S_1(\omega)$ ($h_g = 0.6$, $\omega_g = 5\pi$), $\psi(t)$ に次式を使用し、

$$\psi_3(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq t_0 \\ e^{-c(t-t_0)} & t_0 < t \end{cases} \quad (7)$$

村上と Penzien¹¹⁾ は $S_1(\omega)$ ($h_g = 0.6, 0.2, \omega_g = 15.6 \text{ rad/sec}$), $\psi_2(t)$ を用いてショットノイズ型モデルで $z_2(t)$ を模擬し、種々の建物の弾塑性応答をもとめている。

ホワイトノイズ入力による質点の速度応答を $z(t)$ と見做せば、 $h(t)$ と $S(\omega)$ は次の様になる。

$$h_2(t) = e^{-h_g \omega_g t} (\bar{\omega}_g \cos \bar{\omega}_g t - h_g \omega_g \sin \bar{\omega}_g t) H(t) / \bar{\omega}_g \quad (8)$$

$$S_2(\omega) = \frac{1}{\omega^2} \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^4}{\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2\right\}^2 + 4 h_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2} S_0 \quad (9)$$

同様に、質点の変位応答を $z(t)$ と見做せば $h(t)$ と $S(\omega)$ は次式で表わされる。

$$h_3(t) = e^{-h_g \omega_g t} \sin \bar{\omega}_g t H(t) / \bar{\omega}_g \quad (10)$$

$$S_3(\omega) = \frac{1}{\omega_g^4} \frac{1}{\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2\right\}^2 + 4 h_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2} S_0 \quad (11)$$

Amin と Ang¹²⁾ は $h_1(t), h_3(t), \psi(t)$ に次式を使用し

$$\psi_4^2(t) = \begin{cases} I_0 \left(\frac{t}{t_1}\right)^2 & 0 \leq t \leq t_1 \\ I_0 & t_1 < t \leq t_2 \\ I_0 e^{-c(t-t_2)} & t_2 < t \end{cases} \quad (12)$$

ショットノイズ型モデルによって $z_2(t)$ を、また Shinozuka と Sato¹³⁾ は $h_3(t), \psi(t)$ に次式を使用し
て、

$$\psi_5(t) = c_0 (e^{-c_1 t} - e^{-c_2 t}) \quad (13)$$

$z_1(t), z_2(t)$ を模擬し、結果を地震速度として取り扱っている。

一方、後藤・土岐・秋吉¹⁴⁾ と Shinozuka¹⁵⁾ は平均値 0、任意のパワースペクトル密度 $S(\omega)$ のサンプル関数を次の三角級数を用いて模擬した。

$$z_3(t) = \psi(t) \sigma \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{i=1}^N \cos(\omega_i t + \phi_i) \quad (14)$$

$$z_4(t) = \psi(t) \sum_{k=1}^N a_k \cos(\omega_k t + \phi_k) \quad (15)$$

ここで、 $\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega$: $z_3(t)$ の分散値、 N : 十分に大きな正の整数、 $\phi_i, \phi_k : (0, 2\pi)$ で一様な確率変数、 $a_k = \sqrt{4 S(\omega_k) \Delta\omega}$ 、 ω_i : 確率密度関数 $p(\omega) = S(\omega) / \sigma^2$ を有する確率変数

田治見・石丸¹⁶⁾ は $\psi_1(t), S_0, S_1(\omega)$ を、中野・西川・東¹⁷⁾ は $S_1(\omega)$ ($h_g = 0.6, T_g = 0.3, 1.0 \text{ sec}$)、 $\psi(t)$ には次式を用いて、

$$\psi_6(t) = a t e^{(1-t/t_p)} / t_p \quad (16)$$

また、後藤・土岐¹⁹⁾ は $p(\omega)$ に次式を用いて、

$$p(\omega) = 2\omega^2 \exp(-2\omega/\omega_p) / (\pi\omega_p^3) \tag{17}$$

$z_3(t)$ をシミュレートしている。

一方、坂本・小浜²⁰⁾、谷・曾田²¹⁾は $\psi_1(t)$ 、 S_0 を、柴田・水野²²⁾は $\psi_5(t)$ 、 S_0 を、洪・長谷川・兼近²³⁾は $\psi_2(t)$ 、 $S_1(\omega)$ を用いて $z_4(t)$ を模擬している。

$S_i(\omega)$ ($i=1, 2, 3$) は1つのピークを有するなめらかな関数である。先にも述べた様に、実地震波の $\underline{S}(\omega)$ には1つ乃至2つ以上のピークが認められる。これらの $S(\omega)$ の特性をより忠実に表現したモデルとして、複数のピークを有する $S(\omega)$ が山崎²⁴⁾、浅野²⁵⁾、佐藤²⁶⁾と山田・竹宮²⁷⁾によって提案されており、各々次の様に表わされる。

$$S_4(\omega) = \sum_{s=1}^L S_s \frac{1 + 4 h_{qs}^2 \left(\frac{\omega}{\omega_{qs}}\right)^2}{\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{qs}}\right)^2 + 4 h_{qs} \left(\frac{\omega}{\omega_{qs}}\right)^2\right\}} \tag{18}$$

$$S_5(\omega) = S_0 \sum_{s=1}^L \alpha_s \frac{\omega^2}{(\omega_{qs}^2 + h_{qs}^2 - \omega^2)^2 + 4 h_{qs}^2 \omega^2} \tag{19}$$

$S_4(\omega)$ と $S_5(\omega)$ は各々 $S_1(\omega)$ と $S_2(\omega)$ ($\omega_q^2 = \omega_{qs}^2 + h_{qs}^2$, $h_q \omega_q = h_{qs}$) の級数和になっている。

$z_i(t)$ ($i=1\sim 4$) は振幅特性のみに非定常性を考慮したモデルであるが²⁸⁾、スペクトル密度が時間的に変化するモデルも提案されている。

後藤・北浦は $z_3(t)$ の拡張として次式を用いた。

$$z_3'(t) = \psi(t) \frac{a}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \cos [\{ \alpha(t) \omega_i + \beta(t) \} t + \phi_i] \tag{20}$$

また、 $z_4(t)$ の拡張は次の様に表わされる。

$$z_4'(t) = \sum_{k=1}^N a_k(t, \omega_k) \cos (\omega_k t + \phi_k) \tag{21}$$

亀田は $a_k(t, \omega_k)$ に多重フィルタースペクトルを利用し²⁹⁾、星谷等は物理スペクトルを用いている³⁰⁾。

§ 3 地震波の模擬と建物の解析モデル

§ 2 で述べたように、地震波の模擬手法には種々のものが提案されているが、本報では三角級数モデルにより地震加速度をシミュレートする。表³¹⁾等は $z_3(t)$ と $z_4(t)$ についてシミュレーションの精度と級数の必要項数 (N) を検討したところ、 $z_4(t)$ の方が精度が良いと指摘していることから、 $z_4(t)$ を使用する。

平沢等は日本で記録された地震波21本による速度応答スペクトルを検討したところ、速度応答スペクトルの特性は $S_1(\omega)$ よりも $S_2(\omega)$ の方が良く説明できるとしている。しかし使用された地震波が比較的小地震によるものであることや、 $S_1(\omega)$ の方がその物理的解釈が容易であることなどから、 $S_1(\omega)$ が最もよく利用されている。これらの点を鑑みて $S_1(\omega)$ を使用する。

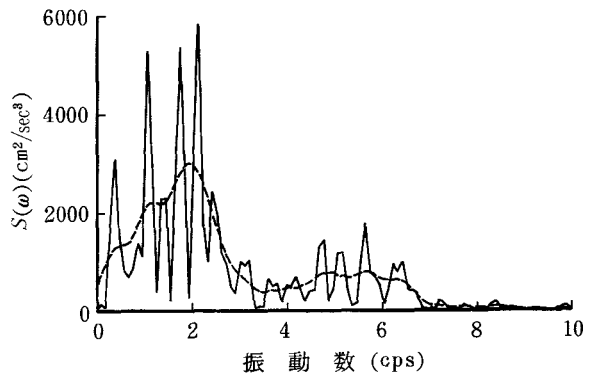


図-1 地震波のパワースペクトル密度の例 (大崎による)

図-1は El-Centro 1940 NS 成分波のパワースペクトル密度を示したものである。図中には Parzen³³⁾ ウィンドウを使って平滑化されたものが併記されている。図から 0.5sec に顕著なピークが、また 0.25 sec 付近にもピークが認められる。既報で述べた様に、これらの卓越周期が建物の弾塑性応答性状に及ぼす影響は無視できないものと考えられる。この点を考慮して、複数のピークを有するパワースペクトル密度をもつ模擬波の特性も検討する必要がある。先ず $S_1(\omega)$ を設定したことから $S_4(\omega)$ を使用する方が妥当であるが、 $S_4(\omega)$ のパラメータの設定に不明な点が多い。一方、過去の大地震波について、 $S_5(\omega)$ の各パラメータを山田・竹宮が算出している²⁷⁾ので、これらの値が利用できる。こうした理由から、本報では $S_5(\omega)$ を使用した。

$S_1(\omega)$ を有する模擬波(以後 $\psi_1(t)$ と表わす)の自乗平均値と分散値 σ_1^2 は次式で与えられる。

$$E[\psi_1^2(t)] = \sigma_1^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_1(\omega) d\omega = \frac{\pi S_0 \omega_g}{2 h_g} (1 + 4 h_g^2) \quad (22)$$

同様に $S_5(\omega)$ を有する模擬波 ($L=2$ とし、以後 $\psi_2(t)$ と表わす)の自乗平均値と分散値 σ_2^2 は次の様になる。

$$E[\psi_2^2(t)] = \sigma_2^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_5(\omega) d\omega = S_0 \sum_{s=1}^2 \alpha_s \frac{\pi}{2 h_{gs}} \quad (23)$$

模擬波の最大値 ψ_{max} は概ね次の関係から推定できる。

$$\psi_{max} = 3\sigma \quad (24)$$

山田・竹宮が算出した ω_{gs} , h_{gs} を概観すると、若干大胆ではあるが次の関係が認められる。

$$\omega_{g2}/\omega_{g1} = h_{g2}/h_{g1} = 2 \quad (25)$$

α_s は地震波によってかなり差異があるため、(19)式の各項の最大値が等しい場合を取り扱うことにする。この仮定により次の関係が得られる。

$$\alpha_2 = 4\alpha_1 \quad (26)$$

(26)式の関係を仮定すれば、 $S_5(\omega)$ の各ピーク値は概ね相等しくなる。

(22)式~(26)式から、 ψ_{max} , ω_g , h_g , ω_{g1} , h_{g1} を設定すれば $S_1(\omega)$, $S_5(\omega)$ は一義的に与えられる。強震を想定して、 $\psi_{max} = 300 \text{ gal}$ とする。既往の研究によれば $h_g = 0.2 \sim 0.6$ が使用されていることから、 $h_g = 0.3, 0.6$ を用いる。図-2は h_{g1} の変化が $S_5(\omega)$ のピーク値にどのような変化を与えるかを示したものである。図から $h_{g1} = 1.0, 1.5$ の場合は $S_5(\omega)$ に顕著なピークが表われないことが知れる。従って、 $h_{g1} = 0.5$ を使用する。卓越振動数 ω_g は $4\pi \text{ rad/sec}$ がよく用いられるが、本報では $\omega_g = \omega_{g2} = 2\pi \text{ rad/sec}$ とした。級数の重ね合せ項数 $N = 500$ とし、 $\psi(t)$ は(5)式 ($T_d = 10 \text{ sec}$) を用いている。

振動系は、復元力特性が図-3に示す完全弾塑性モデルと剛性低下モデルで表わされる1質点系とし、減衰は無視する。系の弾性固有周期 T は、

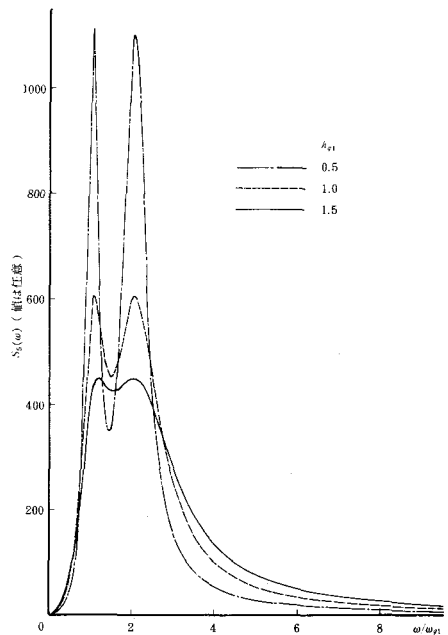
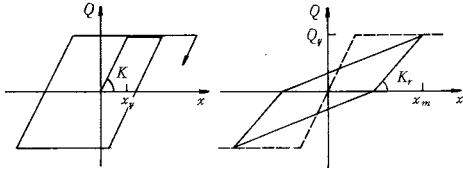


図-2 $S_5(\omega)$ の h_{g1} によるピーク値の変化

$y_1(t)$ に対して $T/T_q (T_q = 1 \text{ sec}) = 0.4, 0.6, 1.0, 1.5$, $y_2(t)$ に対しては $T/T_{q2} (T_{q2} = 2\pi/\sqrt{\omega_{q2}^2 + h_{q2}^2} = 0.99 \text{ sec}) = 0.6 \cdots \textcircled{A}, 1.0 \cdots \textcircled{B}, 1.44 \cdots \textcircled{C}, 2.0 \cdots \textcircled{D}, 3.38 \cdots \textcircled{E}$ とした。図-4 は $S_5(\omega)$ 上に T の位置を示したものである。剛性低下モデルの減力剛性 K_r (図-3 参照) は、文献(3)と同様に次式で与えた。

$$K_r = K (x_y/x_m)^\alpha \tag{27}$$



完全弾塑性モデル 剛性低下モデル

図-3 建物の復元力モデル

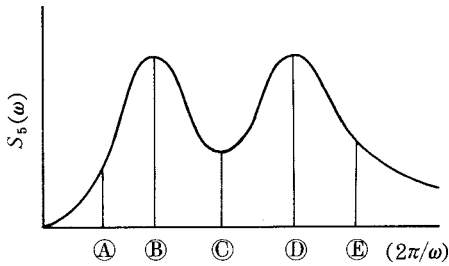


図-4 T の位置

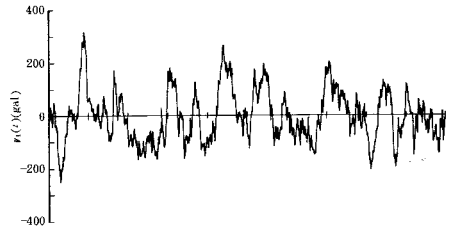


図-5.2 模擬地震波 $y_1(t)$ ($h_g = 0.6$)

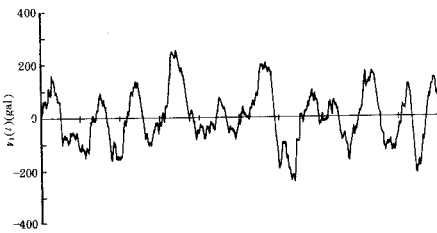


図-5.1 模擬地震波 $y_1(t)$ ($h_g = 0.3$)

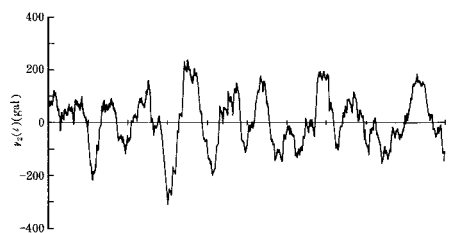
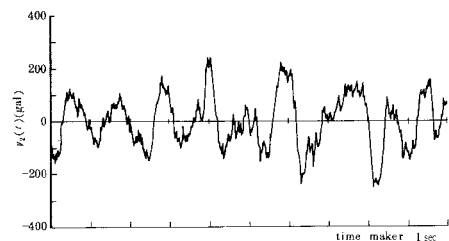
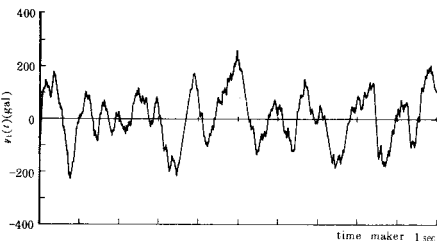


図-6 模擬地震波 $y_2(t)$



§ 4 解析結果とその検討

図-5 (ピークが1つの場合)と図-6 (ピークが2つの場合)は模擬地震波のサンプルを示したものである。図-5.1 ($h_g=0.3$)と図-5.2 ($h_g=0.6$)を比較すると、卓越度の相異が明らかに表われている。すなわち、 h_g が小さい場合、波形は比較的正弦波に近くなり、 h_g が大きくなる程、短周期成分がかなり顕著に表われてくるのがわかる。しかし、図-5と図-6を比較しても、両者の相異は顕著とは言えない。

模擬波の最大値 y_{\max} の平均値 \bar{y}_{\max} は $y_1(t)$ の場合 (サンプル波15本)、 $h_g=0.3$ で $\bar{y}_{\max}=288.35$ gal, $h_g=0.6$ で $\bar{y}_{\max}=296.50$ gal である。 $y_2(t)$ の場合 (サンプル波8本)は313.13 galであった。目標値は300 galであることから、(24)式によりかなり正確に最大値は推定できると言える。

次に非線形応答特性について述べる。図-7.1は $y_1(t)$ ($h_g=0.6$) に対する最大応答変位を降伏せん断力係数 q_y (降伏せん断力 Q_y /自重) と塑性率 μ (最大応答変位/降伏変位) の平均値 $\bar{\mu}$ の関係で示したものである。完全弾塑性モデル (図中EPM) と剛性低下モデル (図中DSM) を比較すると、 $\alpha=1.0$ の場合を除けば、 q_y と $\bar{\mu}$ の関係に復元力モデルの差異による影響は小さいことが知れる。 $\alpha=1.0$ の場合は、他に比較して大きな q_y で応答変位が発散する。発散する程度は、 $T=1.5$ sec の場合は比較的小さく、 $T=0.4, 0.6$ sec の場合は概ね類似した傾向を示す。これらの挙動は、図-7.2に示す $h_g=0.8$ の場合についても同様である。

応答量のバラツキを示したものが図-8である。図中の黒丸と白丸は各々完全弾塑性モデルと剛性低下モデル ($\alpha=0.5$) の平均値を示す。一般的に q_y が小さくなる程、剛性低下モデルについては α が大きくなる程応答が不安定になりやすいため、応答量のバラツキも大きくなる傾向が認められる。復元力モデルによる影響を見ると、剛性低下モデルの方が若干バラツキが大きくなるが、大局的に見れば復元力モデルの差異による影響は、 $\alpha=1$ の場合を除いて、比較的小さいと言える。

図は割愛するが $y_2(t)$ に対する非線形応答特性も、 $y_1(t)$ の場合とほとんど同じ傾向を示したことから、模擬波の卓越周期について検討する。

非線形応答性状に及ぼす入力波の卓越度は、歪エネルギー応答特性から概略推定できる。半サイクル間における単位質量当りの最大歪エネルギー応答量を E とする。もし振動系の応答が進行性破壊的な挙動をすれば、 q_y-E の関係に極大が現れる。その他の場合、 q_y-E の関係は概ね直線的に変化することが知れている。

図-9に $y_1(t)$ による完全弾塑性モデルと剛性低下モデルの q_y-E の関係を示す。図中、縦軸の q_y と横軸の E は線形応答量 q_e, E_e によって基準化されている。 $T=0.6$ sec について、 $q_y/q_e-E/E_e$ の関係は概ね直線的であることがわかる。 $\alpha=1$ の場合、 $q_y/q_e=0.6$ 付近で応答量が急激に増加している。この性状がジャンプ現象によるものであることは、文献(34)から容易に予想できる。周期 T_g 付近の卓越波によるものと推定される。

$y_1(t)$ の場合、 $T_g \leq T$ の振動系にジャンプ現象は発生しないはずであるが、図-9に応答例を示す様に、 $T=1.5$ sec の剛性低下モデル ($\alpha=1.0$) にジャンプ現象が発生している。これらのサンプルによる速度応答スペクトルを算出すると、 $T > T_g$ でかなり顕著なピークが認められる。このことから、履歴減衰の小さい系にあっては、パワースペクトル密度の形だけから応答の詳細な挙動を指定することは困難があるようである。

進行性破壊的応答を無視すれば、 $\bar{\mu}$ と q_y の関係は次式で略算的に推定できる。^{2),3)}

$$\bar{\mu} = \frac{\{(\bar{E}_e - \bar{E}_0) q_y + \bar{q}_e \bar{E}_0\} \omega_0^2}{q^2 q_y^2 \bar{q}_e} + 0.5 \tag{28}$$

図-7に(28)式を併記した。図から、(28)式は全体の傾向を良く表わしていると言える。

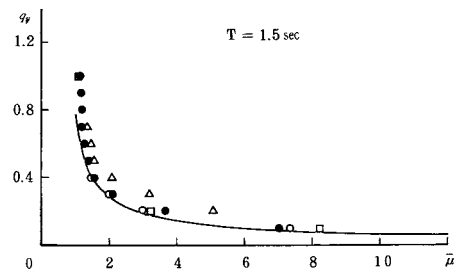
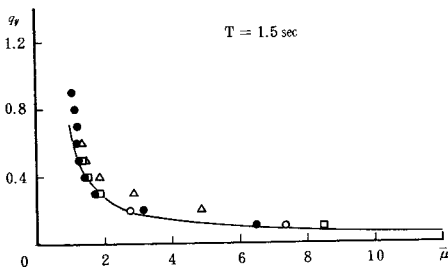
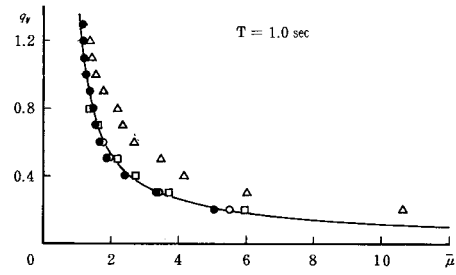
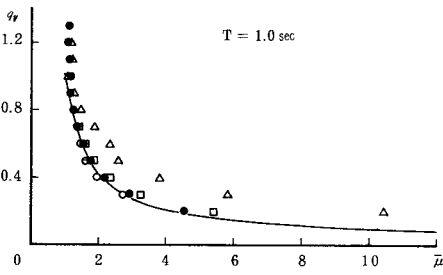
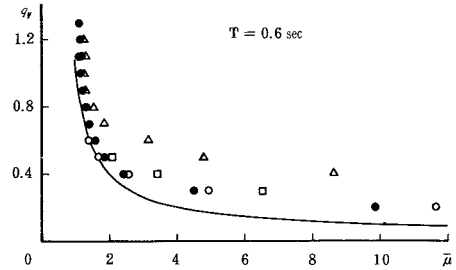
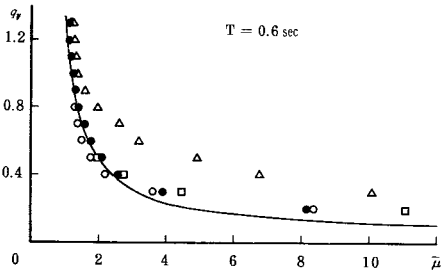
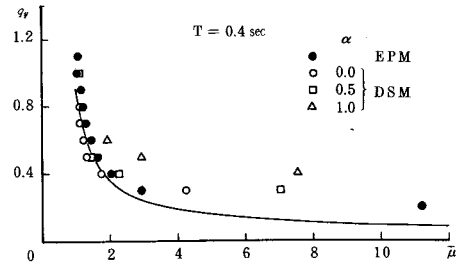
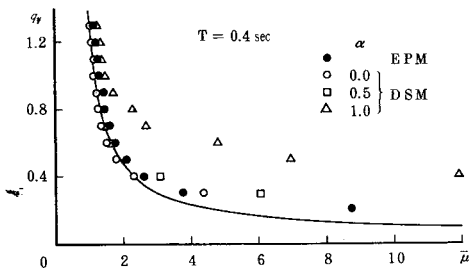


図-7.1 $y_1(t)(h_g=0.6)$ による $q_y-\bar{\mu}$ の関係

図-7.2 $y_1(t)(h_g=0.3)$ による $q_y-\bar{\mu}$ の関係

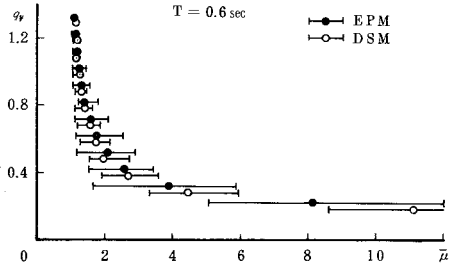


図-8.1 $y_1(t)(h_g=0.6)$ による応答のバラツキ

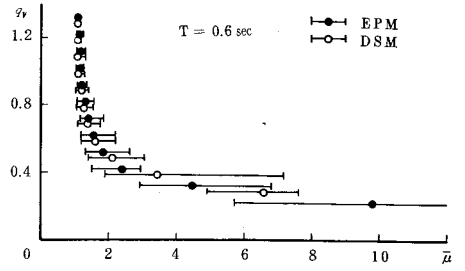


図-8.2 $y_1(t)(h_g=0.3)$ による応答のバラツキ

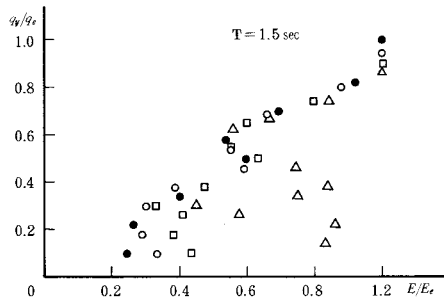
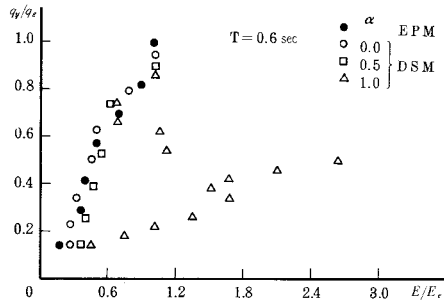
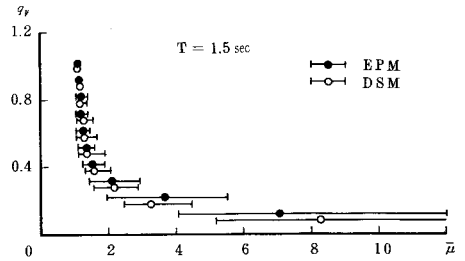
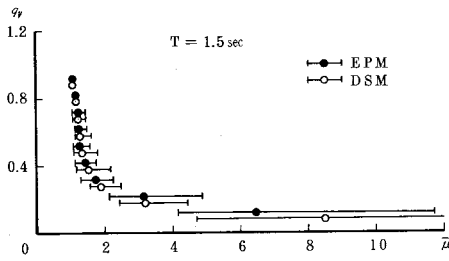


図-9 $y_1(t)(h_g=0.6)$ による歪エネルギー応答特性

§ 5 おわりに

模擬波の性質を検討するため、Shinozuka の提案する三角級数モデルを用いて定常ガウス確率過程に属する模擬波を作成し、1 質点系建物の非線形応答を算出したところ、次の結論を得る。

- (1) 模擬波による非線形応答性状は実地震波による応答性状と同様の傾向が認められた。
- (2) 入力波の卓越程度が非線形応答性状に及ぼす影響を検討するため、田治見のパワースペクトル密度を用いて h_g を変化させた。 $h_g = 0.3$ と 0.6 の場合を比較すると、模擬波形に顕著な差が認められるにも関わらず、非線形応答性状に著しい差異は認められない。
- (3) 複数ピークのパワースペクトル密度を有する模擬波の非線形応答性状について、複数の卓越周期による顕著な影響は認められなかった。

謝 辞

本報告の計算にあたり、呉工業高等専門学校計算機室 FACOM 230-28S を使用した。関係諸氏に感謝します。

参考文献

- 1) 梅村 魁：構造物の耐震設計—木造から超高層まで—，鋼材倶楽部，昭和52年7月
- 2) 門前勝明：弾塑性応答量の推定に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和53年9月
- 3) 門前勝明：剛性低下モデルの地震動に対する弾塑性応答量の推定に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和54年9月
- 4) M. Shinozuka: Digital Simulation of Ground Accelerations, Proc. Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 2, 1974
- 5) G. N. Bycroft: Analogue Computer Technique in Aseismic Design, Pro. Second World Conference on Earthquake Engineering, 1960
- 6) E. Rosenblueth and J. I. Bustamante: Distribution of Structural Response to Earthquakes, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 88, No. EM3, June, 1962
- 7) G. W. Housner and P. C. Jennings: Generation of Artificial Earthquakes, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 90, No. EM1, February, 1964
- 8) 田治見宏：耐震理論に関する基礎的研究，東京大学生産技術研究所報告，第8巻第4号，1959年3月
- 9) P. C. Jennings, G. W. Housner and N. C. Tsai: Simulated Earthquake Motions, Earthquake Engineering Research Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, 1968
- 10) Patricio Ruiz and Joseph Penzien: Stochastic Seismic Response of Structures, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 97, No. EM2, April, 1971
- 11) Masaya Murakami and Joseph Penzien: Nonlinear Response Spectra for Probabilistic Design and Damage Assessment of Reinforced Concrete Structures, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, EERC75-38, November, 1975
- 12) Mohammad Amin and Alfredo H. -S. Ang: Nonstationary Stochastic Model of Earthquake Motions, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 94, No. EM2, April, 1968
- 13) Masanobu Shinozuka and Y. Sato: Simulation of Nonstationary Random Process, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 93, No. EM1, February, 1967
- 14) 後藤尚男，土岐憲三，秋吉卓：電子計算機による耐震設計用人工地震波に関する研究，第2回日本地震工学シンポジウム，1966年
- 15) M. Shinozuka and C. -M. Jan: Digital Simulation of Random Processes and Its Applications, Journal of the Sound and Vibration, Vol. 25, No. 1, 1972

- 16) 田治見 宏, 石丸辰治: バイリニャ型およびスリップ型履歴系の統計的地震応答, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和52年10月
- 17) 田治見 宏, 石丸辰治, 土屋孝右衛: 人工地震波による多質点弾塑性応答系の統計的特性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和51年10月
- 18) 中野克行, 西川考夫, 東洋一: 構造物の強度および強度分布と地震応答に関する研究(その2), 日本建築学会関東支部第44回(48年度)研究報告集
- 19) Hisao Goto and Kenzo Toki: Structural Response to Nonstationary Random Excitation, Proc. Fourth World Conference on Earthquake Engineering, 1969
- 20) 坂本順, 小浜飽朗: 不規則外乱を受けるブレース構造系の動的応答性状に関する考察, 日本建築学会論文報告集, 第248号, 昭和51年10月
- 21) 谷 資信, 曾田五月也: 確率論的手法による完全弾塑性履歴構造物の振動解析, 昭和53年度関東支部研究報告集, 昭和53年7月
- 22) 柴田明德, 水野 淳: 非定常ランダム外乱を受ける弾塑性系の等価線形応答解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和53年9月
- 23) 洪 忠喜, 長谷川康之, 兼近 稔: 均等フレーム構造の伝達関数と床応答, 第5回日本地震工学シンポジウム, 1978年11月
- 24) 山崎 裕: 構造物の地震応答問題における不確定変動量の取扱いに関する研究・第1報 不確定変動量からなる構造物の地震応答理論, 日本建築学会論文報告集, 第240号, 昭和51年2月
- 25) 浅野幸一郎: 地震入力スペクトルの非定常性を考慮した履歴系のランダム応答, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和54年9月
- 26) 佐藤壽芳: 複数卓越周期を考えた応答曲線の推定に関する研究, 第5回日本地震工学シンポジウム, 1978年11月
- 27) Yoshikazu Yamada and Hirokazu Takemiya: Statistical Estimation of the Maximum Response of Structures Subjected to Earthquake Motion, Pro. of JSCE, No. 182, Oct., 1970
- 28) 後藤尚男, 北浦 勝: 地震動の非定常スペクトル密度とその模式化, 土木学会論文報告集, 第236号, 1975年4月
- 29) Hiroyuki Kameda: Evolutionary Spectra of Seismogram by Multifilter, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 101, No. EM6, December, 1975
- 30) 星谷 勝, 千葉利晃, 草野直幹: 地震加速度波の非定常性とシミュレーション, 土木学会論文報告集, 第245号, 1976年1月
- 31) 表 俊一郎, 花井正実, 松村和雄, 塩谷清人: 地震動のシミュレーションに関する一考察— M. Shinozukaの方法による模擬地震波とその精度—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和48年10月
- 32) 平沢光春, 鈴木敏夫, 鈴木 哲, 正尾 亨: 確率論手法による入力地震動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和47年10月
- 33) 大崎順彦: 地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 昭和51年7月
- 34) 門前勝明: 減力時の剛性低下が地震応答性状に及ぼす影響について(その2, 正弦波による近似応答式), 日本建築学会中国支部研究報告集, 昭和52年9月

(昭和55年10月15日受付)

せず。「傳」に『季平子、東野に行きて房に卒す』と稱する、是れなり」と。而るに先儒以爲へらく、「卿禮を以て終ふと雖も、其の喪に臨まざれば皆な没して書せず」と。杜（預）、其の喪に臨まざるも亦た同じく日を書せざるを知るは、案ずるに、慶父の死するや、卿禮を以て終へずして「經」に書せざるは知るに足る。唯だ卿禮を以て終へざる者は「經」に始めて書せざるに據れば、明らかに卿禮を以て終ふれば全て喪に臨まずと雖も亦た同じく卒を書して、但だ日を書せざるのみ。

「春秋」の諸事、日すると日せざるとは「傳」に皆な發せず。唯だ此に「傳」を發するが故に特に之を解して、（注に）「『春秋』は日月を以て例と爲さず。唯だ卿佐の喪のみ獨り日を記して以て義を見すなり」と云ふ。（注に）「事の得失は未だ人君を褒貶するに足らず」と言ふは、『春秋』の文は、褒を厚賞と爲し、貶を大罰と爲す。君の臣に於けるや、恩有るは則ち常事なれば、以て賞を加ふるに足らず。恩無きは則ち小失なれば、以て罰を致すに足らず。故に（注に）「未だ以て褒貶するに足らず」と云ふなり。止だ死者を貶責せんと欲するのみ。君自ら恩無し。然れども亦た死者の罪に非らず。意は以て勸戒と爲さんと欲するも辭の以て文に寄すべき無く、而して人臣は君に對して輕賤と爲し、死日を略去すべし。故に此の一條に於いて特に日を假りて以て義を見す。其餘は則ち日月を以て例と爲さず。故に「傳」無きなり。

- ① 「釋例」 『春秋釋例』大夫卒例第六に見える。
- ② 襄（公）五年 襄公五年經に「辛未、季孫行父卒」とあり、「傳」に「季文子卒、大夫入斂、公在位、宰庀家器爲葬備」とある。

③ 鞏 隱公四年經に「秋、鞏帥師、會宋公・陳侯・蔡人・衛人

伐鄭」とある。

- ④ 柔 桓公十一年經に「柔會宋公・陳侯・蔡叔盟于折」とある。
- ⑤ 溺 莊公三年經に「春、溺齊師伐衛、疾之也」とある。
- ⑥ 文（公）十四年 文公十四年經に「九月甲申、公孫敖卒于齊」とあり、杜預注に「既許復之、故從大夫之例、書卒也」とある。その喪については文公十五年經に「齊人歸公孫敖之喪」とあり、「傳」に「書曰齊人歸公孫敖之喪、爲孟氏且爲國故也」とある。「經」文の杜預注には「大夫喪還不書、善魯感子以赦父、敦公族之恩、崇仁厚之教、故特錄赦喪歸、以示義也」とある。
- ⑦ 「釋例」 『春秋釋例』大夫卒例第六に見える。
- ⑧ 莊（公）三十二年 莊公三十二年經に「秋、七月癸巳、公子牙卒」とあり、杜預注に「書日者公有疾、不責公不與小斂也」とある。
- ⑨ 昭（公）二十五年 昭公二十五年經に「冬、十月戊辰晦、叔孫婁卒」とあり、杜預注に「公不與小斂而書日者、公在外、非無恩也」とある。
- ⑩ 二十九年 昭公二十九年經に「夏、四月庚子、叔詣卒」とある。
- ⑪ 成（公）十七年 成公十七年經に「壬申、公孫嬰齊卒于緹」
とある。
- ⑫ 「釋例」 『春秋釋例』大夫卒例第六に見える。
- ⑬ 「傳」 定公五年經の「六月丙申、季孫意如卒」の「傳」に「季平子行東野還、未至丙申卒于房」とある。
- ⑭ 慶父の死 閔公二年經には見えず、「傳」には「……共仲曰、奚斯之聲也、乃縊」とある。
- ⑮ 「傳」 本年傳に「公不與小斂、故不書日」とある。

（未完）

（昭和55年10月15日受付）

㉘ 尹子 成公十六年經に「公會尹子・晉侯・齊國佐・邾人伐鄭」とある。

㉙ 單子 襄公三年經に「公會單子・晉侯・宋公・衛侯・鄭伯・莒子・邾子・齊世子光」とある。

㉚ 劉子 昭公十三年經に「公會劉子・晉侯・齊侯・宋公・衛侯・鄭伯・曹伯・莒子・邾子・滕子・薛伯・杞伯・小邾子于平丘」とある。

㉛ 榮叔 注⑧参照。

㉜ 南季 注⑦参照。

㉝ 家父 桓公八年經に「天王使家父來聘」とある。

㉞ 叔服 文公元年經に「天王使叔服來會葬」とある。

㉟ 襄(公)十五年注 注⑩参照。

〔經〕 公子益師卒

〔注〕 傳例曰、公不與小斂故不書日、所以示薄厚也、春秋不以日月爲例、唯卿佐之喪、獨記日以見義者、事之得失既未足以褒貶人君、然亦非死者之罪、無辭可以寄文、而人臣輕賤、死日可略、故特假日以見義

〔疏〕 注傳例一見義

正義に曰はく、「傳」文の上下と例を作す者は、注は皆な之を「傳例」と謂ふ。

① 『釋例』に曰はく、「君の卿佐を是れ股肱と謂ふ。股肱の虧くること或れば何ぞ痛きこと之に如かんや。疾には則ち親ら問ひ、喪には則ち親ら小斂・大斂に與る。終はりを慎み厚きに歸するの義なり。故に仲尼の『春秋』を脩むるや、卿佐の喪に、公、小斂に

與らざれば則ち日を書せざるは、薄厚を示して將來を戒むればなり。即ち新死の小斂を以て文と爲せば、則ち但だ大斂に臨み、其の喪に臨まざるに及ぶも亦た同じく日を書せざるなり」と。襄(公)五年の「冬、十二月辛未、季孫行父卒す」の「傳」に曰はく、「大夫入りて斂す。公、位に在り」と。是れ公、小斂に與れば則ち日を書するの事なり。

其の輩・柔・溺等、生きながら「經」・「傳」に見え、死して「卒」を書せざるは、皆な卿禮を以て終へざればなり。文(公)十四年に「秋、九月甲申、公孫敖齊に卒す」とあり、已に卿の位を絶ち、公も小斂に與らず。而るに「日」・「卒」を書するは、⑦ 『釋例』に曰はく、「公孫敖は情を縱いままにして命を棄つ。既已に位を絶てば大夫に非らざるなり。而るに備さに『經』に書するは、惠叔毀、朝に請ひ、子に感じて父を赦すを以てなり。公族の恩を敦くし、仁孝の教を崇ぶが故に『傳』に『孟子且つ國の爲めの故なり』と曰ふなり」と。是れ斂に與らずと雖も恩實に厚きに過ぐるが故に日を書するを言ふなり。莊(公)三十二年の「秋、七月癸巳、公子牙卒す」とは、時に公に疾有り。昭(公)十五年の「冬、十月戊辰、叔孫婁卒す」、二十九年の「夏、四月庚子、叔詣卒」とは、時に公孫れて外に在り。成(公)十七年の「冬、十一月壬申、公孫嬰齊、狸脈に卒す」とは、外に在りて卒す。皆な公は斂に與らずして日を書するは、⑩ 『釋例』に曰はく、「其の或は公疾み、外に在り、大夫國に卒せず、而るに猶ほ其の日を存するは、君子は人を責めず、備ふるを得ざる所にして、臨むを欲せざるには非ざるを以てなり」と。然らば則ち其の故有るが爲めに、以て公を責むるを得ず。故に皆な日を書するなり。

⑬ 公孫嬰齊には卒する所の地を書し、餘は皆な地を書せざるは、『釋例』に曰はく、「魯の大夫、其の境内に卒すれば則ち地を書

て字を書すべからず、卿にして爵無ければ、字を越えて名を書すべからず。蓋し卿王も亦た字を書し、大夫も亦た爵を書すること有りしならん。王臣の「經」に見ゆる者衆し。祭伯・凡伯・毛伯・²⁶單伯・²⁷召伯・²⁸尹子・²⁹單子・³⁰劉子、其の間に未だ大夫無くんばあらず。榮叔・南季・家父・叔服、其の間に未だ卿無くんばあらず。但だ明證無きが故に例に依りて之を解す。襄（公）十五年注に「天子の卿は字を稱す」と云ふは、是れ天子の卿に字を書するの理有るを言ふなり。

① 僖（公）二十四年傳 僖公二十四年傳に「富辰諫曰不可、臣聞之、太上以德撫民、其次親親以相及也、昔周公弔二叔之不咸、故封建親戚以蕃屏周室、管・蔡・邶・霍・魯・衛・毛・聃・郟・雍・曹・滕・畢・原・鄭・郕、文之昭也、邢・晉・應・韓・武之穆也、凡・蔣・邢・茅・茅・昨・祭、周公之胤也」とある。

② 祭公謀父 昭公十二年傳に楚の靈王に答えた子革の言葉として「昔穆王欲肆其心、周行天下、將皆必有事車轍馬跡焉、祭公謀父作祈招之詩以止王心」とあり、杜預注に「謀父周卿士、祈父周司馬、世掌甲兵之職、招其名、祭公方諫遊行、故指司馬官而言」とある。

③ 莊（公）二十三年 莊公二十三年經に「祭叔來聘」とあり、杜預注に「無傳、穀梁以爲祭叔爲祭公、來聘魯、天子内臣不得外交、故不言使、不與其得使聘也」とある。

④ 『釋例』 『春秋釋例』會盟朝聘例第二に見える。

⑤ 祭伯 本年經に見える。

⑥ 凡伯 隱公七年經に「冬、天王使凡伯來聘」とある。

⑦ 南季 隱公九年經に「春、天王使南季來聘」とある。

⑧ 榮叔 莊公元年經に「王使榮叔來錫桓公命」とある。

⑨ 劉夏 襄公十五年經に「劉夏逆王后于齊」とある。

⑩ 石尙 定公十四年經に「天王使石尙來歸服」とある。

⑪ 公、王人に洮に會す 僖公八年經に「春、王、正月、公會王人・齊侯・宋公・衛侯・許男・曹伯・陳生子款、盟于洮」とある。

⑫ 王叔陳生 襄公五年經に「王使王叔陳生覲戎于晉」とある。

⑬ 伯輿 襄公十年傳に「王叔陳生與伯輿爭政」とある。

⑭ 王子虎 文公三年經に「夏、五月、王子虎卒」とあり、杜預注に「不書爵者天王赴也」とある。

⑮ 劉卷 定公四年經に「劉卷卒」とあり、杜預注に「劉子奉命出盟召陵、死則天王爲告同盟、故不具爵」とある。

⑯ 襄（公）十五年注 襄公十五年經に「劉夏逆王后于齊」とあり、杜預注に「劉菜地、夏名也、天子卿書字、劉夏非卿故書名」とある。「傳」文には「官師從單靖公逆王后于齊、卿不行、非禮也」とある。

⑰ 「傳」 注⑯参照。

⑱ 「天王、凡伯をして來聘せしむ」 注⑥参照。

⑲ 劉炫 本疏引。

⑳ 「傳」 注⑬参照。

㉑ 滕侯 隱公十一年傳に「春、滕侯、薛伯來朝、爭長、薛侯曰、我先封也、滕侯曰、我周之卜正也」とある。

㉒ 『書』 「周書」顧命に「大保命仲桓南宮毛、仲爰齊侯呂伋以二千戈、虎賁百人、逆子釗于南門之外」とある。

㉓ 祭伯 本年經に見える。

㉔ 凡伯 注⑥参照。

㉕ 毛伯 文公元年經に「天王使毛伯來錫公命」とある。

㉖ 單伯 莊公元年經に「夏、單伯逆王姬」とある。

㉗ 召伯 成公八年經に「天子使召伯來錫公命」とある。

忘齊桓之德、冬、盟于齊、脩桓公之好也」とある。

④ 桓（公）十四年 桓公十四年經に「春、正月、公會鄭伯于曹」とあり、杜預注に「以曹地、曹與會也」とある。

⑤ 彼の注 注④参照。

⑥ 僖（公）二十七年 僖公二十七年經に「冬、楚人・陳人・蔡侯・鄭伯・許男圍宋、十有二月甲戌、公會諸侯盟于宋」とあり、杜預注に「宋方見圍、無嫌於與盟、故直以宋地也」とある。

⑦ 彼の注 注⑥参照。

⑧ 宣（公）十四年 宣公十四年經に「秋、九月、楚子圍宋」とある。

⑨ （宣公）十五年 宣公十五年經に「春、公孫歸父會于楚子于宋」とある。

⑩ 「地理志」 『漢書』地理志によれば梁國には八県あり、睢陽県の班固の自注に「故宋國、微子所封、禹貢盟諸澤在東北」とある。

〔經〕冬、十有二月、祭伯來

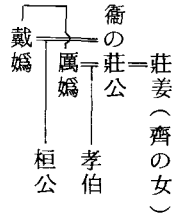
〔注〕祭伯諸侯爲王卿士者、祭國、伯爵也、傳曰非王命也、釋其不稱使

〔疏〕注祭伯、稱使

正義に曰はく、僖（公）二十四年傳に、富辰、周公の親戚を封建して以て周に蕃屏たらしめしを説きて「邢・茅・昨・祭」を云へば、則ち祭の初封は畿外の國なり。穆王の時に祭公謀父有り。今、祭伯有り。世々王朝に仕ふれば、蓋し本封は絶滅し、王畿に食采せるならん。莊（公）二十三年の「祭叔來聘す」の注に以爲

へらく、「祭叔は祭公爲り。魯に來聘す。天子の内臣は外交するを得ず」と。是れ祭は此の時に於いて畿内の國爲りて、仍は封爵有り。故に（本注に）「諸侯の、王の卿士爲るもの」と言ふなり。

『釋例』に曰はく、「王の公卿には皆な爵を書す。祭伯・凡伯是れなり。大夫には字を稱す。南季・榮叔是れなり。元士・中士には名を稱す。劉夏・石尙是れなり。下士には人を稱す。『公、王人に逃に會す』、是れなり。其の或は祭公と稱するは、官を擧げて之を言ふ」と。此れ其の定例なり。然れども春秋の世に王の卿士の采地無き者有り。王叔陳生・伯輿の屬の若き、是れなり。但だ未だ「經」に其の稱を書して何と云ふかを知らず。杜（預）、既に「公卿は爵を稱す」と云ふ。而るに王子虎及び劉卷の卒に名を稱するは、彼は是れ天王赴を爲すに名を以て魯に告ぐればなり。諸侯の例に、薨ずれば名を稱するが如きなり。此に「公卿は爵を稱す」と云ふは、聘使の往還と彼と異爲るを謂ふなり。又た襄（公）十五年注に「天子の卿は字を稱す」と云ふは、「傳」に「劉夏、王后を齊に逆ふ。卿行かざるは禮に非ざるなり」と云ふを以てなり。劉夏は卿に非ざるを以て名を書す。若し卿なれば則ち應に字を書すべし。名字の相ひ對するを以ての故に擧げて以て言ふ。其の實、卿は爵を書するなり。此の祭伯、若し王來たらしむれば、當に「天王、祭伯をして來聘せしむ」と云ふべし。亦た「天王、凡伯をして來聘せしむ」の如し。今、自ら來たるを以て文と爲せば、明らかに王命に非ずして私行せるなり。劉炫云ふ、「卿にして爵無くんば或は亦た字を書す。大夫に爵有れば或は亦た爵を書す」と。「傳」に「王叔陳生と伯輿と政を争ふ」と稱すれば、俱に是れ卿士にして並びに爵を言はず。又た滕侯の先は周の卜正爲り。「書」に「齊侯呂伋、虎賁氏と爲る」と稱すれば、則ち大夫も亦た或は爵有るなり。然らば、則ち大夫に爵有れば、爵を捨て



〔經〕 九月、及宋人盟于宿

〔注〕 客主無名、皆微者也、宿小國、東平無鹽縣也、凡盟以國地者、

國主亦與盟、例在僖十九年、宋今梁國睢陽縣

〔疏〕 注客主、陽縣

正義に曰はく、『春秋』の例にては若し是れ命題なれば則ち名を「經」に書す。此の盟の客主に名無し。故に皆な是れ微なる者なるを知るなり。①「公羊傳」に曰はく、「孰れか之に及ぶ。内の微なる者なり」と。

②「穀梁傳」に曰はく、「及とは何ぞ。内の卑なる者なり。宋人とは外の卑なる者なり」と。「卑」・「微」とは嘲に非ざるを言ふなり。「客」とは宋を謂ひ、「主」とは魯を謂ふ。直ちに「及」と言ふは、他國には某人と言ふべきも、魯史は自ら魯人と言ふを得ずして、直ちに「及彼——彼に及ぶ」と言ふ。是れ魯の及ぶこと知るべし。其の微人と他國と聚會するも亦た直ちに「會」を言ふは、此れと同じきなり。

會盟の地、地には必ず主有り。地を擧ぐるは、地主の國或は與り或は否せざるが故に地主の國も亦た列に序するなり。其の「經」に國名を擧げて以て盟地と爲すは、國主與りて其の中に在り。復た之を列に序せざるは、其の知るべきを以ての故なり。（注の）

「例は僖（公）十九年に在り」とは、彼の「經」に「陳人・蔡人・楚人・鄭人齊に盟ふ」と書し、「傳」に曰はく、「陳穆公、好を諸侯に脩め、以て齊桓の徳を忘るること無きを請ふ。冬、齊に盟ふは、桓公の好を脩むるなり」と。「桓公の好を脩む」と言へば、齊人の必ず與ること知るべし。齊人は列に序せずして、齊を以て盟地と爲す。是れ其の盟に國地を以てするは、國主、盟に與るの例なり。此も亦た推して以て例と爲せるにて、凡例には非ざるなり。然らば則ち桓（公）十四年に「公、鄭伯に曹に會す」とあるは、即ち亦た是の例なり。而るに遠く僖（公）十九年を指すは、此は既に是れ「盟」なるが故に「盟」を取りて例と爲すなり。其の實、會も亦た然るなり。故に彼の注に「曹地を以てすれば曹は會に與る」と云ふ、是れなり。僖（公）二十七年に「楚人・陳侯・蔡伯・鄭伯・許男宋を圍む。公、諸侯に會して宋に盟ふ」とあり。宋は盟に與らざるも亦た地するに宋を以てするは、彼の注に云ふ「宋方に圍まる。盟に與るに嫌ひ無し。故に直ちに宋を以て地す」と。然らば則ち宣（公）十四年に「楚子、宋を圍む」、（宣公）十五年「公孫歸父、楚子に宋に會す」とあるも亦た是れ宋の與るに嫌ひ無し。故に地するに宋を以てするなり。⑩「地理志」に「梁國睢陽縣は故の宋國、微子の封せられし所なり」とあり。

① 「公羊傳」 『公羊傳』隱公元年に「孰及之、内之微者也」とある。

② 「穀梁傳」 『穀梁傳』隱公元年に「及者何、内卑者也、宋人、外卑者也、卑者之盟不日、宿、邑名也」とある。

③ 僖（公）十九年 僖公十九年經に「冬、公會陳人、蔡人、楚人、鄭人盟于齊」とあり、「傳」に「陳穆公請脩好於諸侯、以無

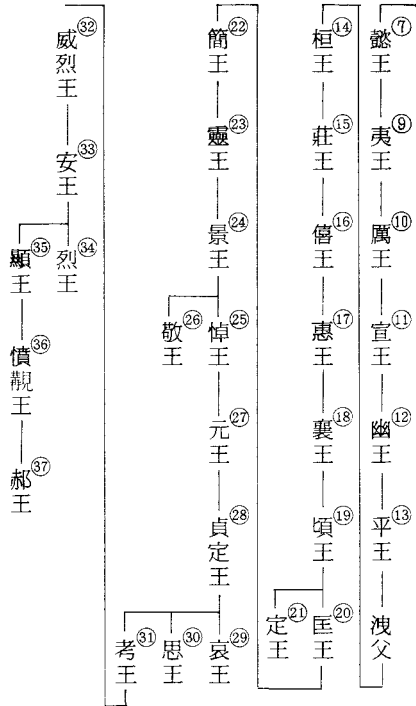
於いて當に夫の諡に繋げて以て屬する所を明らかにすべし」と。
 是れ婦人は諡すべからざるを言ふなり。夫の諡に繋くるは夫人のみ。衆妾は夫に繋くべからず。當に字を以て姓に配すべきを正とするなり。其の聲子・戴嬀に諡有るは、皆な禮を越えて妄作せるなり。

① 「譜」 『春秋釋例』卷八・世族譜の周の部に見える。

② 「周本紀」 『史記』周本紀に見える。

文王——武王——成王——康王——昭王——穆王

③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿



袞曰嬀、貝玉曰含、錢財曰賻」とある。

⑦ 「惠公仲子」 「經」文に「天王使宰咺歸惠公及仲子之賻」と書いていないこと。

⑧ 服虔 本疏引。

⑨ 「士喪既夕禮」 『儀禮』既夕禮に「凡將禮、必請而後拜送、兄弟賻奠可也、所知則賻而不奠、知死者贈、知生者賻」とある。

⑩ 何休 『公羊傳』隱公元年「車馬曰賻、貨財曰賻、衣被曰篋」の條の「解詁」に「此者春秋制也、賻猶覆也、賻猶助也、皆助生送死之禮」とある。

⑪ 「周禮」天官 「天官」序官に「治官之屬、大宰卿一人、小宰中大夫二人、宰夫下大夫四人、上士八人、中士十有六人、旅下士三十有二人」とある。

⑫ 「大宰職」 『周禮』天官・宰夫の職に「凡邦之弔事、掌其戎令、與其幣器財用凡所共者」とあり、鄭注に「弔事、弔諸侯諸臣、幣所用賻也、器、所致明器也、凡喪、始死弔而含篋、葬而賻贈、其間加恩厚、則有賻焉、春秋譏武氏子來求賻」とある。

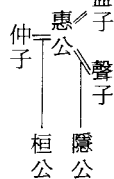
⑬ 鄭玄 注⑫參照。

⑭ 仲子 孟子 聲子

⑮ 「釋例」 『春秋釋例』書諡例第二十七に見える。

⑯ 聲子 注⑭參照。「序傳」に「繼室以聲子、生隱公」とあり、杜預注に「聲諡也」とある。

⑰ 戴嬀 隱公三年傳に「衛莊公娶于齊東宮得臣之妹曰莊姜……又娶于陳、曰厲嬀、生孝伯、早死、其娣曰戴嬀、生桓公」とあり、杜預注に「嬀陳姓、厲戴皆諡也」とある。



⑱ 文(公)五年の注 文公五年經の「春、王、正月、王使榮叔歸含且賻」の杜預注に「珠玉曰含、含口實、車馬曰賻」とある。

⑲ 「士喪既夕禮」 『儀禮』既夕禮に「公賻玄纁束馬兩」とあり、鄭注に「賻所以助主人送葬也」とある。

⑳ 『公羊傳』 『公羊傳』隱公五年に「賻者何、喪事有賻、賻者蓋以馬、以乘馬束帛車馬曰賻、貨財曰賻、衣被曰篋」とある。

㉑ 『穀梁傳』 『穀梁傳』隱公元年に「賻者何、乘馬曰賻、衣

武王、殷に克ちて天下を王有す。幽王、大戎の殺す所と爲り、平王は王城に遷都す。今の河南縣是れなり。平王の四十九年は魯の隱公の元年なり。敬王又た成周に遷る。今の洛陽是れなり。敬王の三十九年は獲麟の歳なり。四十三年にして敬王崩す。敬王の子の元王の九年に『春秋』の傳終はる。元王以下十一世、二百二十六年にして周亡ぶるなり」と。^②「周本紀」にては、武王より平王に至るまで凡て十三王、兄弟相ひ及ぶ者一人、平王は是れ武王の十一世の孫なり。

惠公の薨は往年に在り、明年に仲子始めて薨す。蓋し時に於いて疾有り、王其の疾を聞き、之を已に薨すと謂ひしならん。故に大宰の大夫の名は咥なる者をして來たりて魯に至らせ、并はせて惠公、仲子の賵を歸らしむるなり。

「賵」は喪を助くるの物なり。文（公）五年の注に「車馬を賵と曰ふ」と云ひ、^④「士喪既夕禮」に「公の賵は、玄纁・束帛・兩馬」と云ふ。士の制は只兩馬を駕するを得るのみなるが故に「賵は兩」と云ふ。大夫以上は皆な四馬を駕す。此に宰咥來たりて賵するは、蓋し四馬を用ひしならん。^⑤『公羊傳』に曰はく、「喪事に賵有り。賵は蓋し馬を以てす。乘馬・束帛・車馬を以て賵と曰ふ」と。^⑥『穀梁傳』に曰はく、「乘馬を賵と曰ふ」と。皆な宰咥の乘馬を用ひて來たるを謂ふなり。（「經」に）^⑦「惠公仲子」とありて「及」を言はざるは、是れ并はせて二賵を致すなり。或は是れ史の異辭なり。蓋し二者各々乘馬を以てせるにて、宜しく一乘の馬を以て二人に賵すべからず。^⑧服虔云ふ、「賵は覆なり。天王の、臣子を覆被する所以なり」と。案ずるに、^⑨「士喪既夕禮」に「兄弟、知る所は悉く皆な賵を致す」とあり。獨り君の臣に賵するのみならざるなり。「賵」を以て「覆」と爲すは則ち可なり。其の「臣子を「覆被す」と言ふは則ち非なり。何休も亦た云ふ、「賵は猶は

覆のごときなり」と。蓋し亡者を覆被するを云ふのみならん。

〔疏〕注宰官一之辭

正義に曰はく、（本年）「傳」に「緩なり。且つ子氏は未だ薨せず。故に名いふ」と言へば、是れ應に名いふべからざるに而も之に名いふなり。貶すれば乃ち名を書すれば、法として應に字を書すべきを知る。故に（注に）「此れ天子の大夫の字を稱するの例なり」と云ふ。「傳」に明例無きが故に此れを推して例と爲すなり。^⑪

「周禮」天官に「大宰は卿一人、小宰は中大夫二人、宰夫は下大夫四人」とあり、宰夫・小宰は皆な是れ大夫なれば、未だ宰咥は是れ何の宰なるかを知らず。「宰夫職」に曰はく、「凡そ邦の弔事には、其の戒令と其の幣器・財用とを掌る」と。鄭玄云ふ、「弔事は諸侯・諸臣を弔するなり。幣は用ふる所の賻なり」と。既に（宰夫）弔事を掌れば或は即ち使（者）に充つるなり。此（の宰咥）は蓋し宰夫ならん。^⑫

仲子は乃ち惠公の妾なるのみ。王之に賵せしむるは、隱（公）、桓（公）を立てて大子と爲せば、桓（公）の母は（惠公の）夫人爲ると成し、天王は其の然るを知るが故に賵を惠公に遣り、因りて即ち之（仲子）に賵するなり。杜（預）の「仲子は桓公の母なり」と言ふは、正に此の意を見すなり。然らざれば、仲子の、桓（公）の母爲ること（序）「傳」に明文有れば、須らく解すべからざるなり。

男子の諡有るは、人君は則ち王に配し公に配し、大夫は或は子に配し、或は字に配す。皆な字を以て姓に配せず。婦人は法に於いて諡無し。故に（注の）「字を以て姓に配す」とは、その正法の然るを言ふなり。「釋例」に曰はく、「婦人に外行無し。禮に

の)「僞を得るを克と曰ふ」とは莊(公)十一年の「傳例」なり。
 (注の)「國討の例は莊(公)二十二年に在り」とは、彼の「經」に「陳人、其の公子御寇を殺す」と書す。實に君、大子を殺して而も「陳人」を稱するは、陳人、其の大子を殺すの名を惑むが故に、君父を稱せずして、「國、公子を討ず」を以て告ぐればなり。「傳」に「陳人、其の大子御寇を殺す」と稱するは、實を以て之を言ふ。「經」に書する所の「國討の例」なるを明らかにするなり。彼に凡例無くして(此の注に)「例」と言ふは、正に此の「傳」に「鄭伯を稱するは失教を譏るなり」と云ふを以てなり。「稱」と言ふは是れ仲尼の變例なり。「君」を稱するは君を罪すと爲せば、則ち「人」を稱するは國討爲るを知るなり。「序」に「變例を推して以て褒貶を正す」と云ふは即ち此の類なり。推して以て例を爲すが故に「例は彼の年に在り」と言ふ。諸々の注に「例在り」例は「に在り」と言ふは、未だ必ずしも皆な凡例有らざるなり。
 「地理志」にては、河南郡に宛陵・新鄭有り。各々自づから縣爲り。晉の世に河南を分ちて熒陽を立て、新鄭を廢して宛陵に入る。故に鄭は宛陵の西南に在るなり。又た「地理志」にては、潁川郡に鄆陵縣有り。

- ① 「譜」 『春秋釋例』卷八・世族譜の鄭國の部に見える。
- ② 「諡法」 『逸周書』諡法解には「勝敵志彊曰莊」とある。
- ③ 「傳例」 宣公十七年傳に「凡大子之母弟、公在曰公子、不在曰弟、凡稱弟、皆母弟也」とある。
- ④ 「釋例」 『春秋釋例』母弟例第四に見える。
- ⑤ 襄(公)三十年、襄公三十年經に「天王殺其弟佖夫」とあり、「傳」に「書曰、天王殺其弟佖夫、罪在王也」とある。

- ⑥ 「釋例」 『春秋釋例』母弟例第四に見える。
- ⑦ 「傳例」 昭公四年傳に「凡克邑、不用師徒曰取」とある。又た注⑧を参照。

⑧ 莊(公)十一年 莊公十一年傳に「凡師敵未陳曰敗其師、皆陳曰敗、大崩曰敗績、得僞曰克、覆而敗之曰取其師、京師敗曰王師敗績于某」とある。

⑨ 彼の「經」 莊公二十二年經に「陳人殺其公子御寇」とあり、「傳」に「陳人殺其大子御寇」とある。

⑩ 「傳」 注⑨参照。

⑪ 「序」 杜預の『集解』序に「傳之義例、總歸諸凡、推變例以正褒貶」とある。

⑫ 「地理志」 『漢書』地理志の河南郡に二十二県あり、新鄭、桌の班固の自注に「新鄭國、鄭桓公之子武公所國、後爲韓所滅、韓自平陽徙都之」とある。

⑬ 「地理志」 『漢書』地理志の潁川郡の條に僞陵県がある。

〔經〕秋、七月、天王使宰咺來歸惠公仲子之贈

〔注〕宰官、咺名也、咺贈死不及尸、弔生不及哀、豫凶事故貶而名之、此天子大夫稱字之例、仲子者桓公之母、婦人無諡故以字配姓、來者自外之文、歸者不及反之辭

〔疏〕秋七月、之贈

正義に曰はく、天王は周の平王なり。「譜」に云ふ、「周は黃帝の苗裔、姬姓、后稷の後なり。后稷、郤に封ぜらる。夏の衰ふるに及んで后稷の子の不窋、其の官を失ひて西戎に竄る。大王に至りて狄の逼る所と爲り、邠を去りて岐に居る。文王、命を受け、

〔釋例〕 『春秋釋例』會盟朝聘例第二に見える。

〔26〕 幸咍 本年「經」に「秋七月、天子使幸咍來歸惠公仲子之贈」とあり、「傳」に「緩、且子氏未薨故名」とある。

〔27〕 賈（逵）・服（虔） 本疏引。

〔28〕 儀父 本年「經」に「三月、公及邾儀父盟于蔑」とあり、「傳」に「邾子克也、未王命故不書爵、曰儀父貴之也」とある。

〔29〕 桓十七年 注⑬参照。

〔經〕 夏、五月、鄭伯克段于鄆

〔注〕 不稱國討、而言鄭伯、譏失教也、段不弟、故不書弟、明鄭伯雖失教而段亦凶逆、以君討臣、而用二君之例者、言段強大僭傑據大都以耦國、所謂得僖曰克也、國討例在莊二十二年、得僖例在莊十一年、母弟例在宣十七年、鄭在熒陽宛陵縣西南、鄆今潁川鄆陵縣

〔疏〕 夏五月、于焉

正義に曰はく、鄭國は伯爵なり。①「譜」に云ふ、「鄭は姬姓なり。周の厲王の子の宣王の母弟たる桓公友の後なり。宣王、友を鄭に封ず。今の京兆の鄭縣是れなり。幽王の無道なるに及んで、友は其の民を虢部に遷す。虢部の君其の地を（友）に分ち、（友）遂に焉に國す。今の河南の新鄭縣是れなり。莊公二十二年は魯の隠公の元年なり。聲公二十年は獲麟の歳なり。二十三年にして『春秋』の傳終はる。聲公は三十七年に卒す。聲（公）より以下五世八十七年にして、韓、鄭を滅す」と。此の鄭伯は莊公なり。②「謚法」に「敵に克ちて克く壯なるを莊と曰ふ」とあり。

〔疏〕 注不稱、陵縣

正義に曰はく、「國討」とは國を稱すること人の若きを謂ふ。國を稱し人を稱するは、則ち其の賊爲るを明らかにす。一國の人の討を欲する所なるを言ふなり。今「鄭伯」を稱すれば、君自ら弟を殺すを指言し、弟に罪無きが若く然り。其の（鄭伯が）兄の教を失ひ、肯て早に之が所を爲さず。乃ち是れ其の惡を養成し、其の亂を爲すに及んで則ち必ず之を殺さんと欲するを譏る。故に「鄭伯」を稱するは鄭伯を罪する所以なり。③「傳例」にては、母弟は「弟」を稱す。段は實に母弟なるも、其の弟の行を爲さざるを以ての故に「弟」を去りて以て段を罪するなり。兩つながら之を罪するは、兄は教を失うと雖も、而も段も亦た凶逆なるを明らかにするなり。④「釋例」に曰はく、「兄にして弟を害する者は、「弟」を稱して以て兄の罪を章はず。弟又た兄を害すれば則ち「弟」を去りて弟の身を罪す。其の義を統論するに、兄弟二人交々相ひ殺害し、各々曲直有りて、「弟」を存すれば兄の曲を示すなり。鄭伯既に教を失へば、若し例に依りて「弟」を存すれば、則ち段を善みするに嫌ひあり。故に「弟」を去りて、兩つながら其の義を示す」と。是れ其の説なり。

⑤襄（公）三十年「天王、其の弟佖夫を殺す」の「傳」に「罪は王に在り」曰へば、則ち鄭伯と譏を同じくす。而るに佖夫に「弟」を去らざるは、⑥「釋例」に曰はく、「佖夫に「弟」を稱するは、反の謀を聞かざればなり。鄭段に「弟」を去るは、身、謀首と爲ればなり」と。然らば則ち佖夫は反の媒に與らざれば、王を罪して佖夫を罪せざるが故に「弟」を稱するなり。

⑦「傳例」にては「戰」・「敗」・「克」・「取」は兩國の文なり。段は實に鄭臣なるも而も（「經」に）「克段——段に克つ」と言ふが故に、「傳」意を申べ明らかにして以て之を解す。（注

- ⑤ 「秋官」司盟職 『周禮』秋官・司盟の職に「掌盟載之灋（鄭注——載盟辭也、盟者書其辭於策、殺牲取血、坎其牲、加書於上而埋之、謂之載書、春秋傳曰、宋寺人惠牆伊戾、坎用牲加書、爲世子痤與楚客盟）、凡邦國有疑、會同則掌其盟約之載、及其禮儀、北面詔明神、既盟則貳之（有疑、不協也、明神、神之明察者、謂日月山川也）」とある。
- ⑥ 鄭玄 注③・④・⑤の鄭注参照。
- ⑦ 「傳」 昭公十三年傳に叔向の言葉として、「是故明王之制、使諸侯歲聘以志業、間朝以講禮、再朝而會以示威、再會而盟、以顯昭明」とある。
- ⑧ 「觀禮」 『儀禮』觀禮に「諸侯觀于天子、爲宮方三百步、四門、壇十有二尋、深三尺、加方明于其上、方明者木也、方四尺、設六色、東方青、南方赤、西方白、北方黑、上玄下黃、設六玉、上圭下璧、南方璋、西方琥、北方璜、東方圭」とある。
- ⑨ 鄭（玄） 『儀禮』觀禮の「祭天燔柴、祭山丘陵升、祭山沈、祭地塵」の鄭注に見える。
- ⑩ 『公羊傳』 『公羊傳』莊公十三年の條に「於是會乎桓、莊公升壇、曹子手劍從之……曹子請盟、桓公下與之盟、已盟、曹子擗劍而去之」とある。新しい柯の盟は襄公十九年にあり。
- ⑪ 襄（公）十一年傳 襄公十一年傳に唐城の盟の模様を述べて、「乃盟載書曰、凡我同盟、母蕪年、母壅利、母保姦、母留懸、救災患、恤禍亂、同好惡、將王室、或問茲命、司慎司盟名山名川羣神羣祀先王先公七姓十二國之祖、明神殛之、俾失其民、隊命亡氏、踣其國家」とある。
- ⑫ 襄（公）二十六年傳 襄公二十六年傳に「秋、楚客聘於晉過宋……至則敵用牲、加書徵之」とある。
- ⑬ 哀（公）十七年傳 哀公十七年傳に「武伯問於高柴曰、諸侯盟誰執牛耳」とある。
- ⑭ 定（公）八年 定公八年傳に「晉師將盟衛侯于鄆澤、趙簡子曰羣臣誰敢盟衛君者、涉佗、成何曰、我能盟之、衛人請執牛耳、成何曰、衛吾温、原也、焉得視諸侯、將歆、涉佗按衛侯之手及挽、衛公怒」とある。
- ⑮ 襄（公）九年傳 襄公九年傳に「楚人伐鄭、子駟將及楚平、子孔子蟠曰、與大國盟、口血未乾而背、可乎」とある。
- ⑯ 僖（公）二十五年傳 僖公二十五年傳に「秋、秦晉伐郟、楚鬬克屈禦寇以申息之辟戌商密、秦人過析、隈入而繫輿人以圍商密、昏而傳焉、宵坎血加書、僞與子儀子邊盟者」とある。
- ⑰ 『釋例』 『春秋釋例』會盟朝聘例第二に見える。
- ⑱ 桓（公）十七年 桓公十七年經に「二月丙午、公會邾儀父盟于雒」とある。
- ⑲ 劉炫 本疏引。
- ⑳ 文（公）七年 文公七年經に「秋、八月、公會諸侯晉大夫、盟于扈」とあり、「傳」には「秋、八月、齊侯宋公衛侯鄭伯許男曹伯會晉趙盾盟于扈、晉侯立故也、公後至、故不書所會、凡會諸侯、不書所會、後也、後至不書其國、辟不敏也」とある。
- ㉑ 莊（公）五年 莊公五年經に「秋、邾魯來朝」とあり、「傳」に「名、未王命也」とある。
- ㉒ 『禮記』王制 「王制」に「天下之田方五千里、公侯田方百里、伯七十里、子男五十里、不能五十里者不合天子、附於諸侯曰附庸（鄭注——不合謂不朝會也、小城曰附庸、附庸者以國事附於國、未能以其名通也）、天子之三公之田視公侯、天子之卿視伯、天子之大夫視子男、天子之元士視於附庸」とある。
- ㉓ 鄭玄 注②参照。
- ㉔ 「王制」 注②参照。

ふ、「天子に合せずして諸侯に附するを附庸と曰ふ」と。鄭玄云ふ、「『不合——合せず』とは朝會せざるを謂ふなり。小城を附庸と曰ふ。附庸は國を以て大國に附し、未だ能く其の名を以て通ぜざるなり」と。是れ「附庸」の義を説くなり。

②④「王制」に又た云ふ、「天子の元士は附庸に視ふ」と。然らば則ち附庸の貴賤は天子の元士と同じきなり。其の禮は則ち四命なり。知るは、天子の大夫は子・男に視へ、卿は伯に視へ、三公は公・侯に視へ、視ふる所は皆な多きこと一命なり。明らかに附庸は元士より多きこと一命なるを知るなり。又た諸侯の世子の未だ誓はざれば、皮帛を執りて小國の君に視ふ。公の孤は四命にして亦た皮帛を執る。附庸に及びても亦た皮帛を執るが故に四命なるを知るなり。然らば則ち天子の大夫は四命にして字を稱し、附庸に名を稱するは、王朝の臣なるを以ての故に特に之を尊んで字を稱するなり。

⑤「釋例」に曰はく、「名は字よりも重し。故に君父の前にては自ら名いふ。朋友の接には自ら字いふ。是を以て『春秋』の義は、貶責するに其の名を書して重んずべき所を斥くるなり。褒の厚ければ、其の字を顯はして諱むべき所を辟くるなり」と。然らば則ち應に字いふべきも而も名いふは則ち是れ貶するにて、應に名いふべきも而も字いふは則ち是れ貴ぶなり。故に宰桓は名を書して以て之を貴ぶなり。（本年）「傳」文には唯だ「貴之——之を貴ぶ」と言ふのみにて、貴ぶべきの状を説かず。賈（逵）・服（虔）以爲へらく、「儀父は、隱公に至考謙讓の義有るを嘉して與に好を結ぶ。故に貴びて之に字いふ。其の賢を慕ひ讓を説ぶを善みするなり」と。然らざるを知るは、按ずるに（本年）「傳」に「公は位を攝りて好を邾に求めんと欲す」と云へば、是れ（隱）公先づ邾に求めるにて、邾の先づ（隱）公を慕ふには非ず。復た何ぞ

貴ぶに足らんや。且つ書して「儀父」と曰ふは乃ち是れ新意なり。

仲尼は、事に善みすべき有るを以て、乃ち字を書して之を善みするを得。是れ魯の意に縁りて以て褒貶を爲さず。安んぞ其の賢を慕ふを以て便ち之を貴ぶに足るを得んや。又た桓（公）十七年に「公、邾の儀父と雝に盟ふ」と。桓公は不賢・不讓にして、彼の「經」にも亦た儀父を書す。故に（本年「傳」の）「貴之」の言は「賢を慕ひ讓を説ぶ」が爲めならざるを知るなり。附庸は自ら通ずる能はずして盟會に與らず。今能く自ら大國に通じ、好を繼ぎて民を息はしむ。故に此の爲めに貴んで之に字いふを知るなり。來朝を貴ばずして其の盟を貴ぶは、大國に朝事するは則ち附庸の常道にして、盟を齊して好を結ぶは附庸の能くする所に非ず。故に盟へば則ち之を貴び、朝には常法に従ふなり。

①「譜」 『春秋釋例』卷八・世族譜の邾國の部に見える。

②「曲禮」 『禮記』曲禮・下に「諸侯未及期相見曰遇、相見於卻地曰會、諸侯使大夫問於諸侯曰聘、約信曰誓、涖牲曰盟」とある。

③「周禮」玉府職 「天官」玉府の職に「若合諸侯、則共珠槃玉敦」とあり、鄭注に「敦、槃類、珠玉以爲飾、古者以槃盛血、以敦盛食、合諸侯者、必割牛耳、尸盟者、執之、故書珠爲夷、鄭司農云、夷槃、或爲珠槃、玉敦、歃血玉器」とある。

④「夏官」戎右職 『周禮』夏官・戎右の職に「盟則以玉敦辟盟、遂役之（鄭注——鄭司農云、敦器名也、辟法也、玄謂、將歃血者、先執其器、爲衆陳其載辭、使心皆開辟也、役之者、傳敦血授當歃者）、贊牛耳桃茢（鄭司農云、贊牛耳、春秋傳所謂執耳者、故書茢爲滅、杜子春云、滅當爲厲、玄謂、尸盟者割牛耳取血、助爲之、及血狂敦中、以桃茢拂之、耳者盛以珠槃、尸盟者執之、桃鬼所畏也、茢苕帚、所以掃不祥）」とある。

む。既に歃れば乃ち其の牲を炊し、書を其の上に加へて之を埋む」と。此れ則ち天子の、諸侯に會し、諸侯をして聚まり盟はしむるの禮なり。

① 凡そ天下の盟は、諸侯は十二歳に方岳の下に於いてす。故に「傳」に云ふ、「再會して盟ひ、以て昭明を顯かにす」と。若し王の巡守せざる(とき)及び諸侯に事有るときには王に朝す。即ち時見を會と曰ひ、殷見を同と曰ふ。亦た盟禮を爲す。其の盟の法は、按ずるに、「觀禮」にては、「壇は十有二尋、深き四尺なり。方明を其の上に加ふ。方明は木なり。方四尺。六玉を設く。上は圭、下は璧。南方は璋、西方は琥、北方は璜、東方は圭なり」と爲す。諸侯を壇に朝せしめ、訖れば乃ち方明を壇に加へて之を祀り、諸侯を庭に列す。玉府は珠槃・玉敦を以て辟き盟ひ、遂に之を役し、牛耳、桃列を贊む。司盟は北面して明神に詔告す。諸侯は次を以て血を歃る。鄭玄「觀禮」に注して云ふ、「王の盟、其の神は日を主とす。王官の伯の盟、其の神は月を主とす。諸侯の盟、其の神は山川を主とす」と。是れ盟禮の略なり。

諸侯の盟の若きも亦た壇有り。知るは、故の柯の盟の「公羊傳」に、「曹子、手劍を以て桓公を壇に却かす」と稱する、是れなり。其の盟神は則ち復た定限無し。故に襄(公)十一年傳に、「司慎・司盟・名山・名川・羣神・羣祀・先王・先公・七姓十二國の祖」と稱する、是れなり。其の盟には牛牲を用ふ。故に襄(公)二十六年傳に、「歃して牲を用ふ」と云ひ、又た哀(公)十七年傳に、「諸侯の盟、誰か牛耳を執る」と云ふ、是れなり。其の牛を殺せば必ず血及び耳を取り、手を以て玉敦の血を執り、之を口に進むるなり。知るは、定(公)八年の「涉佗、衛侯の手を按して挽に及ぶ」と、又た襄(公)九年傳に、「大國と盟へば口血未だ乾かず」と云ふ、是れなり。既に盟ふの後、牲及び餘血

は盟載の書に并はせ、牲上加へ、炊して之を埋む。故に僖(公)二十五年傳に、「宵に血を炊して書を加ふ」と云ふ、是れなり。春秋の世は天子の命に由らず、諸侯自ら相ひ與に盟へば、則ち大國は其の言を制し、小國は其の事を尸どる。官は小異なりと雖も禮は則ち大同なり。故に「釋例」に曰はく、「盟は牲を殺して書を載せ、大國は其の言を制し、小國は其の事を尸どる。珠槃・玉敦以て流血を奉じて歃を同じくす」と。是れ其の事なり。其の盟載の辭は則ち「傳」に多く之有り。

此の時(隱)公、好を邾に求む。邾君來たりて蔑地に至り、(隱)公出でて之と盟ふ。史は、魯の事を書するときは(自國の)公を以て主と爲し、「公及」と言ふ。「及」とは、此れより彼に及ぶを言ひ、魯に據りて文を爲すなり。桓(公)十七年に「公、邾儀父に會し進に盟ふ」とあり、彼には「會」と言ひ、此に「及」と言ふは、彼は會禮を行ひ、此は會禮を行はざるが故なり。故に劉炫云ふ、「策書の例、先づ會して後に盟ふ者は、上に『會』を言ひ、下に『盟』を言ふ。唯だ盟ふのみにして會せざる者は、直だ『及』と言ふ。此は會禮を行はざる爲めの故に『及』と言ふなり」と。或は史の異辭なるべし。先づ會して盟へば則ち「會」と稱するに非ず。知るは、文(公)七年「公、諸侯・晉大夫に會し、虜に盟ふ」の「傳」に、「公後れて至る」と云へば、則ち是れ其の會に及ばず、而るに「經」に「會」と稱す。故に盟に會と稱するは、未だ必ずしも先づ會禮を行はざるを知るなり。

〔疏〕注附庸ノ姑城

正義に曰はく、(本年)「傳」に「未だ王命あらず」と云へば、是れ附庸なるを知るなり。莊(公)五年の「邾邾來、來朝す」の「傳」に「未だ王命あらず」と曰ひ、其の名を稱するの意を解けば、是れ附庸の君は例として名を稱するなり。「禮記」王制に云

年春王正月」の疏には「釋曰、何休注公羊春秋、取春秋緯、黃帝受圖立五始以爲元者氣之始、春者四時之始、王者受命之始、正月者政教之始、公即位一國之始、五者同日並見、相須而成」とある。

⑭ 『春秋緯』 注⑬の『穀梁傳』疏引参照。

⑮ 『書』 『尙書』舜典に見える。

⑯ 鄭國の事 襄公七年傳に「鄭僖公……及其元年、朝于晉」とあり、襄十九年傳に「僖之四年、子然卒、簡之元年、士子孔卒」とある。

⑰ 劉炫 本疏引。「爲」字、殿版注疏本には「惟」字に作る。

又た『漢魏遺書鈔』・『玉函山房輯佚書』所収の『春秋規過』も同じ。

⑱ 劉炫 本疏引。

⑲ 何休 『公羊傳』隱公元年、「君之始年也」の條の「解詁」に見える。

⑳ 『公羊』を説く者 注⑬参照。

㉑ 何休 『公羊傳』隱公元年、「公何以不言即位」の條の「解詁」に見える。

㉒ 何休 注⑲参照。

㉓ 隱・莊・閔・僖 注⑧参照。

〔經〕 三月、公及邾儀父盟于蔑

〔注〕 附庸之君、未王命、例稱名能自通于大國、繼好息民、故書字貴之、名例在莊五年、邾、今魯國鄒縣也、蔑、姑蔑、魯地、魯國卞縣南有姑城

〔疏〕 三月、于蔑

正義に曰はく、「公」は隱公なり。「及」は與なり。彼の邾の君にして字は儀父なる者と蔑地に盟ふなり。

① 「譜」に云ふ、「邾は曹姓なり。顓頊の後に六終なるもの有り、六子を産む。其の第五子を安と曰ふ。邾は即ち安の後なり。周の武王、其の苗裔の邾俠を封じて附庸と爲し、邾に居らしむ。今の魯國の鄒縣是れなり。安より儀父に至るまで十二世にして始めて『春秋』に見ゆ。齊桓（公）霸を行ひ、儀父附從し、爵を進め子を稱す。文公、繹に徙る。桓公より以下春秋の後八世にして楚之を滅す」と。

諸侯は俱に王命を受け各々實字有り、上は天子に事へ、旁ら隣國と交はる。天子、諸侯を信ぜず、諸侯自ら相ひ信ぜざれば、則ち盟ひて以て之を要す。凡そ盟禮は牲を殺し血を翫り、神明に告誓す。若し背違するもの有らば、神をして殃咎を加へしむること、此の牲の如くせしめんと欲するなり。「一典禮」に曰はく、「信を約するを誓と曰ひ、牲に泣むを盟と曰ふ」と。「周禮」天官・玉府職に曰はく、「若し諸侯を合すれば則ち珠槃、玉敦を共す」と。④「夏官」戎右職に曰はく、「盟には則ち玉敦を以て辟き盟ひ、遂に之を役し、牛耳、桃列を贊む」と。⑥「秋官」司盟職に曰はく、「盟載の法を掌る。凡そ邦國に疑有りて會同するときは、則ち其の盟約の載及び其の禮儀を掌る。北面して明神に詔ぐ」と。鄭玄⑥以爲へらく、「槃・敦は皆な器名なり、珠玉以て飾と爲す。諸侯を合する者は、必ず牛耳を割き、其の血を取りて之を翫りて以て盟ふ。敦は以て血を盛り、槃は以て耳を盛る。將に翫らんとすれば則ち戎右其の器を執り、衆の爲めに其の載辭を陳べ、心をして皆な開辟せしむ。司盟の官は乃ち北面して其の載書を読み、以て日月山川の神に告ぐ。既に告ぐれば乃ち尊卑は次を以て翫る。戎右は敦の血を傳へて以て當に翫るべき者に授け、其の血を含まし

隱(公)・莊(公)・閔(公)・僖(公)の四公の元年傳に、皆な「即位」を書せざる由を説けり。故に指して以て例と爲すなり。隱(公)、即位を行はず、又た謙りて告げ至らずして歳首に告朔・朝正するは、祖考を尊敬する所以なり。若し即位を行はず、又た朝正せざれば、則ち臣子と別無く、君爲るを成さざるが故に朔を告げ、廟に朝するなり。

① 「釋詁」 『爾雅』釋詁・上に「初・哉・首・基・肇・元・胎・俶・落・權輿、始也」とあり、「釋詁」・下に「育・孟・者・艾・正・伯、長也」とある。

② 『禮記』檀弓 「檀弓」・上に「夏后氏尙黑(鄭注——以建寅之月爲正、物生色黑)大事斂用昏(昏時亦黑、此大事謂喪事也)、戎事乘驪、牲用玄、殷人尙白(以建丑之月爲正、物牙色白)、大事斂用日中、戎事乘翰、牲用白、周人尙赤(以建子之月爲正、物萌色赤)、大事斂用日出、戎事乘騶、牲用騂」とある。

③ 鄭康成 注②・⑤参照。

④ 『緯候』 『春秋緯元命包』(杜佑『通典』等引)に「夏以十三月爲正、息卦受泰、其色尙黑、以平明爲朔、殷以十二月爲正、息卦受臨、其色尙白、以鷄鳴爲朔、周以十一月爲正、息卦受復、其色尙赤、以夜半爲朔」とある。

⑤ 孔安國 『尚書』舜典の「正月上日」の疏に「鄭玄以爲、帝王易代、莫不改正、堯正建丑、舜正建子、此時未改堯正故云正月上日……先儒王肅等以爲、惟殷周改正、易民視聽、自夏已上、皆以建寅爲正、此篇二文不同、史異辭耳、孔意亦然」とある。

⑥ 何休 『公羊傳』隱公三年經「春王二月」の條の「解詁」に見える。

⑦ 服虔 本疏引。

⑧ 元年春王正月 魯十二公の即位に関する「經」・「傳」の文を表示すると左のようになる。

隱公元年春王正月	傳曰不書即位攝也
桓公元年春王正月公即位	傳曰不稱即位、文姜出故也
莊公元年春王正月	傳曰不稱即位、亂故也
閔公元年春王正月	傳曰不稱即位、公出故也
僖公元年春王正月	
文公元年春王正月公即位	
宣公元年春王正月公即位	
成公元年春王正月公即位	
襄公元年春王正月公即位	
昭公元年春王正月公即位	
定公元年夏六月癸亥、公之喪至自乾侯、戊辰公即位	
哀公元年春王正月公即位	

⑨ 雖有一統 定公元年經の疏に「須有一統」とあるに依る。

⑩ 『釋例』 『春秋釋例』公即位例第一に見える。

⑪ 『序』 『集解』序に「所書之王即平王也、所用之歷即周正也」とある。

⑫ 『公羊傳』 『公羊傳』隱公元年に「元年者何、君之始年也、春者何、歲之始也、王者孰謂、謂文王也、曷爲先言王而後言正月、王正月也」とある。

⑬ 『公羊』を説く者 『公羊傳』隱公元年「歲之始也」の疏に「答曰、元是天地之始、春是四時之始、王正月公即位者人事之始、欲見尊重天道、略於人事故也」とあり、『穀梁傳』隱公元年「元

得。「傳」に鄭國の事を説きて、「僖の元年、晉に朝す」・「簡の元年、士子孔卒す」と云ふ。是れ諸侯皆な元を改むるにて、獨り魯のみに非ざるなり。

劉炫、「規過」を爲り、「『元正』は惟だ始長の義を取るのみにて、元を體し正に居る、と爲さず」と云ひ、杜(預)の「其の元を體して以て正に居らんと欲す」と云ふを規釋して謂へらく、「人君は是の元長を體して以て正位に居り、在下の陵奪(及び)位に處りて終はらざるを欲せず」と。是れ劉(炫)は杜(預)の意を妄解し、「其の元善を體して正道に居る」と爲さずして以て杜氏を規す、其の理は非なり。

劉炫、又た何休の「唯だ王者にして然る後に元を改め號を立つるのみ。『春秋』は、新王に託して命を魯に受けしむ。故に因りて以て即位を録す」と云ふを難じて(云ふ)、「若し然らば新王命を受くれば正朔必ず改む。是れ魯は元を稱するを得れば、亦た應に其の正朔を改むべきも、仍ほ周正を用ふるは何ぞや。既に王を魯に託すれば、則ち是れ文王に事へざるに、仍ほ王正を奉ずるは何ぞや。諸侯の改元は自づから是れ常法なり。而るに(何休の)『王に託して元を改む』と云ふは是れ妄説なり」と。

『公羊』を説く者云ふ、「『元』は氣の始、『春』は四時の始、『王』は受命の始、『正月』は政教の始、『公即位』は一國の始なり。『春秋緯』に、『黃帝、扈闔に坐すれば、鳳凰書を衞みて帝前に致す。其の中に五始の文を得たり』と云ふは、此の五事を謂ふなり」と。何休又た云ふ、「公の即位は一國の始なり。政は始を正すより大なるは莫し。故に『春秋』は、元の氣を以て天の端を正し、天の端を以て王の政を正し、王の政を以て諸侯の即位を正し、諸侯の即位を以て境内の治を正す。諸侯、王の政を上奉せざれば則ち即位するを得ず。故に先づ『正月』を言ひて後に『即

位』を言ふなり。政、王に由りて出でざれば則ち政を爲すを得ず。故に先づ『王』を言ひて後に『正月』を言ふなり。王者、天を奉せずして以て號令を制すれば則ち法無し。故に先づ『春』を言ひて後に『王』を言ふなり。天、深く其の元を正さざれば則ち其の化を成す能はず。故に先づ『元』を言ひて後に『春』を言ふなり。五者同日に並見し、相ひ須らく體を成すべし」と。比辭に非ざるなり。

何休自ら「諸侯は改元するを得ず」と云へば、則ち「元」は王の元年にして(隱)公の元年に非ざるなり。「公即位」は王の元年に在らざれば、安んぞ同日に並見して共に體を成すを得んや。即ち王を魯史の改元に託するを以てすれば、「元」は既に魯の改むる所と爲る。さすれば則ち政は王に由りて出でず。安んぞ王の政を以て諸侯を正すを得んや。「元」は尊にして、「王」は卑、「年」は大にして「月」は小なり。「年」に之「元」の改むること有りて忌む無し。王の政を立つるや、必ず須らく其の大を捨てて其の細に事へ、卑むべき所を敬して尊ぶべき所を慢かにするを奉ずべしと云ひて、此れを以て教を立つれば必ず行ふべからず。聖人の作ることに有るは、豈に當に爾るべけんや。黃帝の「五始」を作るは、天子の法爲るか、諸侯の法爲るか。諸侯は改元するを得ざれば、必ず諸侯の法に非ず。若し諸侯の法に非らざれば、安んぞ「公即位」有るを得んや。「公即位」無くれば則ち一始を闕く。何ぞ「五始」と爲すを得んや。若し是れ天子の法なれば、「王正月」・「王即位」と言ふを得ず。何休云ふ、「王の政を以て諸侯の即位を正す」と。然らば王者、豈に復た己の政を以て己の即位を正さんや。通ぜざること此くの若くんば何を以て之を行はんや。「左氏」を言ふ者、或は取りて説を爲すは、是れ狂を逐ひて東走するなり。

すなり。莊(公)・閔(公)・僖(公)の元年に皆な「春王正月」と書するは此れと同じきなり。

定公元年に「正月」を書せざるは、正月の時に定公未だ立たず、即位は六月に在りて、歳首に未だ朝正するを得ず、公の即位は別に下文に見え、正月に見すべき所無きが故に書せざるなり。然らば則ち定(公)、六月を以て即位すれば、即位して乃ち元を改むべきも、正月に已に「元年」を稱するは、未だ改めざるの日は必ず前君の年に乗じ、既に改むるの後に方めて元年を以て事を紀すれば、其の史官の策を定むるに及んでは須らく一統有るべく、半年は前に從ひ、半年は後に從ふべからざればなり。年初に非ずとも亦た此の歳を統ぶ。故に年に入りて即ち「元」を稱するなり。

『釋例』に曰はく、「癸亥、公の喪、乾侯より至る。戊辰、公即位す。喪には外に在りて年を踰えて乃ち入る。故に五日の改朔の節に因る。國史は元年即位の禮を用ふ。因りて此の年を以て元年と爲すなり。古法既に然り。故に漢魏以來、秋・冬に改元すと雖も、史は春・夏に於いて即ち元年を以て之に冠するなり。是れ古に因ること有るなり」と。

受命の王は必ず正朔を改め、繼世の王は奉じて之を行ふ。毎歳諸侯に頒し、諸侯は王の正朔を受くるが故に「春王正月」と言ふ。王は即ち當時の王なり。『序』に「書する所の王は即ち平王なり」と云ふは、是れ其の事なり。『公羊傳』に曰はく、「王とは孰れを謂ふ。文王を謂ふなり」と。始めて正朔を改むるは、自づから是れ文王の爲す所なり。諸侯に頒するは、復た文王の歷に非ず。今王の歷を受けて文王の正を稱するは其の義に非ざるなり。

〔疏〕注隱公(元年)

正義に曰はく、(本年)「傳」に「王は周の正月」と云へば、

是れ周王の正月なるを知るなり。『公羊』を説く者は云ふ、「元」は氣の始、「春」は四時の始、「王」は受命の始、『正月』は政教の始、『公即位』は一國の始なり。『春秋緯』に「黃帝、圖を受くるに五始有り」と稱するは、此の五事を謂ふなり」と。杜(預)は『左氏』の義に於いて此の文無しと雖も、而も「五始」の理も亦た杜(預)に於いては害無し。此れ『左氏』の褒貶の要に非ず。自づから是れ史官の記事の體なり。故に晉・宋の諸史は皆な「元年春王正月帝即位」と言ふ、是れなり。「元年正月」は實に是れ一年一月にして別に名を立つるが故に之を解して、(注に)「凡そ人君の即位するや、其の元を體して以て正に居らんと欲す。故に一年一月と言はざるなり」と云ふ。(注に)「其の元を體して以て正に居らんと欲す」と言ふは、「元正」は實に始長の義にして、但だ名に因りて以て之を廣むるなり。「元」は氣の本なり、善の長なり。人君は大本を執りて庶物に長たりて、其の元と體を同じうせんと欲す。故に年に「元年」を稱す。「正」とは直方の間語なり。其の行を直にし、其の義を方にす。人君は當に直心を執りて大義を杖るべく、其の常に正道に居らんと欲す。故に月に「正」を稱するなり。其の君の始年、歳の始月なるを以て、故に特に此の名を假りて以て義を示す。其餘は皆な即ち其の數に従ひて復た改めざるなり。『書』に「月正元日」と稱するは、意、此に同じきなり。又た事無くして「正月」を書するの意を解するなり。

隱(公)は即位せずと雖も然れども君事を攝行し、亦た廟に朝し朔を告げ、元を改め政を布く。故に首年始月を書し、以て其の應に即位すべくして爲さざるを明らかにするなり。天子の諸侯を封するや、其の土壤を割きて之に臣民を分かち、之をして専ら己が有と爲さしむ。故に諸侯は其の封内に於いて各々元を改むるを

建寅の月を以て正と爲し、殷は建丑の月を以て正と爲し、周は建子の月を以て正と爲す。三代、制を異にして正朔同じからず。故に「禮記」檀弓に云ふ、「夏后氏は黒を尙たうとび、殷人は白を尙たうとび、周人は赤を尙たうとぶ」と。鄭康成は「緯候」に依據して以へらく、「正朔は三たび改まり、古より皆な相ひ變ず」と。孔安國の如きも以へらく、「古より皆な建寅を用ひて正と爲す。唯だ殷のみ夏命をあらた革めて建丑を用ひ、周は殷命をあらた革めて建子を用ふるのみ」と。杜（預）に明説無ければ未だ従ふ所を知らざるなり。

「正」は是れ時王の建つる所なるが故に「王」字を以て之に冠す。是れ今王の正月なるを言ふなり。「王」の、「春」の上に在らざるは、月改むれば則ち春移り、春は王の改むる所に非ざるが故に「王」は「春」に先んぜざるなり。王は必ず月を連ぬるが故に「王」は「春」の下に處るなり。周は建子を用ひて正と爲せば、則ち周の二月・三月は皆な是れ前世の正月なり。故に春に於いて毎月に「王」を書するなり。

「王二月」とは是れ「我が王の二月」を言へるにて、乃ち殷の正月なり。「王三月」とは是れ「我が王の三月」を言へるにて、乃ち夏の正月なり。既に正朔の異なるが故に毎月に「王」を稱して以て之に別つなり。何休云ふ、「二月・三月に皆な『王』有るは、二月は殷の正月なり、三月は夏の正月なり。王は二王の後を存す。其の正朔を統べ、其の服色を服し、其の禮樂を行はしむるは、先聖を尊び三統を通ずる所以にして、師法の義・恭讓の禮なり」と。服虔も亦た云ふ、「孔子、『春秋』を作り、春に於いて毎月に『王』を書するは、以て三王の正を統ぶるなり」と。其の意は以爲へらく、「王二月」・「王三月」の「王」は是れ夏・殷の王にして、大禹・成湯を謂ふなり。周室の臣民の、夏・殷の舊王を尊ぶが爲めに毎月に「王」を書し、敬して前代を奉ず、と。

之を人情に揆るに未だ其の可なるを見ず。杞・宋は二王の後にして各々己が祖の正朔を行ひ、宋は夏を行はず、杞は殷を行はず。而るに天下の諸侯をして二代を偏視せしむるは、諸を典籍に考するに未だ之或を聞かず。杞・宋は周正を奉ぜず。周人は悉く夏・殷を尊べば、則ち是れ過去を重んじて當今を忽かにし、亡國を尊んで時主を慢どるにて、其の顛倒爲ること亦た甚しからずや。且つ「經」の言ふ所の「王二月」・「王三月」、若し是れ夏・殷の王ならば、當に自づから皆な「正月」と言ふべし。何を以て「王二月」・「王三月」と言はんや。之を「二月」・「三月」と謂ふは、其の「王」は必ず是れ周王なり。安んぞ以て夏・殷の王と爲すを得んや。若し『公羊』の説の如くんば、『春秋』は周を黜けて魯を王とす。さすれば則ち杞は王の後に非ざれば夏を尊ぶべき無きも、復た夏正に通ずるは何ぞや。

但だ春の三月は必ずしも月ごとに皆な事有らず。若し年に入りて已に「王正月」有れば、則ち二月には復た王を書せず。若し已に「王二月」有れば、則ち三月には復た王を書せず。其の上月は已に是れ此の王の月なれば、則ち下月は従りて知るべきを以て、故に毎年の春に唯だ「王」を一言するのみ。

『春秋』の例は、時を竟へて事無くんば、乃ち首月を書して以て時を記す。此の下の三月に「會盟」の事有れば、則ち空しく首月を書するを得ざるなり。正月に事無くして空しく首月を書するは、人君は始年・初月に於いて必ず廟に朝し朔を告げ、人君の位に即くに因りて以て臣子の心を繼ぐを以て、故に君の始年には必ず書して、「元年春王正月、公即位」と曰ふ。史策の正法なり。

隱公は君事を攝行し、即位せずと雖も而も亦た元を改め廟に朝す人の更始と常年の正月に異なり。故に史は特に其の事を書し、此の月に（隱）公は宜しく即位すべきも、而も自ら即位せざるを見

春秋正義訳註 (二)

(国語) 榎本 紘二

The Japanese translation and annotation of
Chung-qui Zheng-yi (春秋正義) Part 2

Hiroji MASUMOTO

This paper is part 2 of the Japanese translation and annotation of *Chung-qui Zheng-yi* (春秋正義). Part 2 contains the first year of duke Yin (隱公).

〔經〕 元年、春、王正月

〔注〕 隱公之始年、周王之正月也、凡人君即位、欲其體元以居正、故不言一年一月也、隱雖不即位、然攝行君事、故亦朝廟告朔也、告朔朝正例在襄二十九年、即位例在隱・莊・閔・僖元年

〔疏〕 經元年春王正月

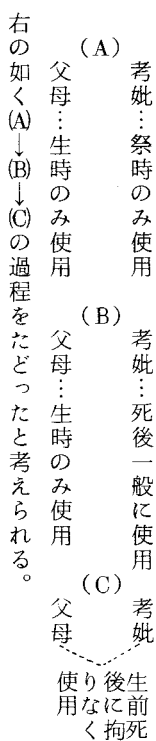
正義に曰はく、此の「經」字、並びに下の「傳」字も亦た杜氏の題する所なり。以へらく、年を分かち相ひ附するに、若し

「經」字有らざれば何を以て「傳」と異にせん。「傳」字有らざれば何を以て「經」に別たん。又『公羊』・『穀梁』の二傳は「年」の上に皆な「經」・「傳」の字無し。故に杜(預)の題する所なるを知るなり。

①「釋詁」に云ふ、「元は始なり」・「正は長なり」と。此れ公の始年なるが故に「元年」を稱す。此れ年の長月なるが故に「正月」を稱す。

「王の正月」と言ふは、王は前代を革めて天下を馭むるには、必ず正朔を改めて服色を易へ、以て人の視聽を變ふるなり。夏は

者考」、『禮記』効特牲の「卜郊、受命于祖廟、作龜于禰宮、尊祖、親考之義也」の如く、考妣は父母の死後、その父母を祭る時に使用された名称であるように思われる。『禮記』祭法の「天下有王、分地建國、置都立邑、設廟・祧・壇・墀而祭之、乃爲親疎多少之數。是故王立七廟・一壇・一墀。曰考廟、曰王考廟、曰皇考廟、曰顯考廟、曰祖考廟。皆月祭之」や、さらに「曲禮下」の「祭王父曰皇祖考、王母曰皇祖妣、父曰皇考、母曰皇妣、夫曰皇辟」とあるのは、その典型であろう。『禮記』の「死曰考、曰妣」の解釈は、考妣・父母の名称が生前死後に拘りなく使用されている時点に於ける疑問を解くものとして注目されなければならないが、考妣を死後の名称とみたのは、祭時のみの名称を広義に死後一般の名称とみなしたためではなかろうか。『爾雅』釋親・宗族の郭璞注に「禮記曰、生曰父母妻、死曰考妣。今學者從之」とあって、『禮記』の説をただ一家の説としてしりぞけるのは妥当でない。加藤常賢氏（『支那古代家族制度研究』考妣の項）は、両親に対して父母及び考妣の両稱謂が存在し、既に生前に於いて此の両者が相混じて使用され、それが死後にまで推及されたと解すべきであろうとしているが、むしろ私は、考妣は祭時のみに使用された名称であって、それが死後一般に使用され、後に生前死後の区別なく使用される名称になって来たと解釈すべきではないかと思う。



(昭和55年10月15日受付)

附論 父母・考妣異稱

両親を父母あるいは考妣とする二種の稱謂が存在するが、これについては生前死後を区別する異稱とする説と、生前死後の別なく使用される異稱であるとする二つの説がある。前者の説を代表する資料として『禮記』と『釋名』の二つが挙げられる。『禮記』曲禮下に「生曰父、曰母、曰妻。死曰考、曰妣、曰嬪」とあるが、鄭玄注は父母考妣の異稱については語っていない。孔穎達疏に「此生死異稱出爾雅文、若通而言之亦通也。尚書云、大傷厥孝心。又云、聰聽祖考之彝訓。倉頡篇云、考妣延年。書云、嬪于虞。詩大明云、嬪于京。周禮九嬪之官、並非生死異稱矣」とあるが如く、考妣が生前、死後に稱謂されている例を示して『禮記』を非としているのは尤もである。さらに、この『禮記』の文が『爾雅』の文に基づいたものであるとする孔疏の判断は注目すべきである。『爾雅』釋親に「父爲考」・「母爲妣」とあれば、『釋名』釋喪制に「父死曰考、母死曰妣」とあるも、『禮記』と同じような記載の仕方からすれば、あるいは『爾雅』に基づいているのかも知れない。

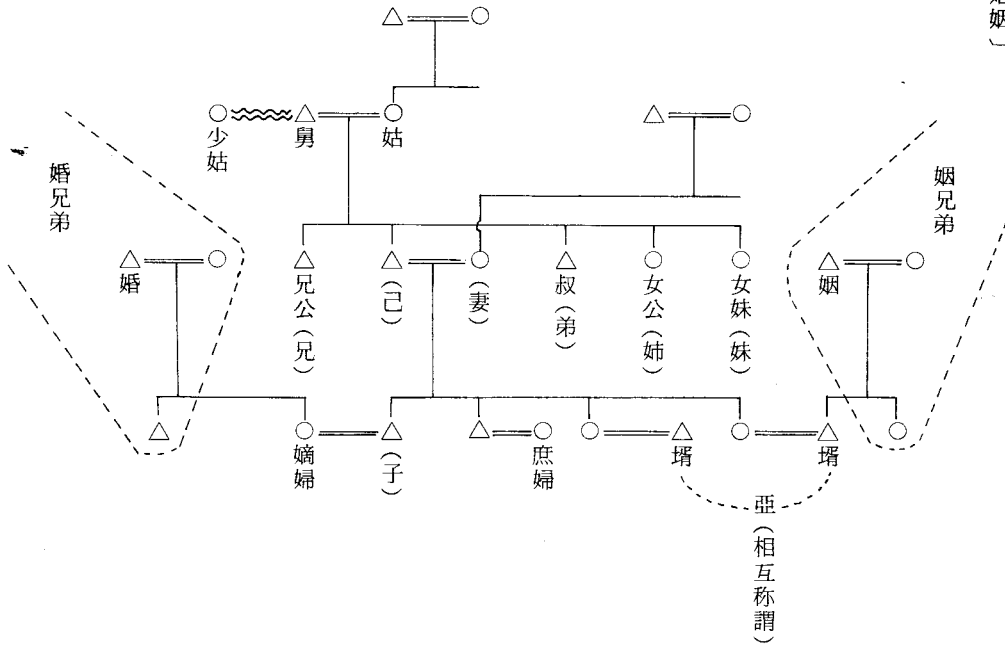
伊藤東涯は、『釋親考』の中で「胤按、父母考妣、生死異稱、傳習已久、禮傳所説似不可必廢。……父母考妣之異稱、意亦古者生死互言而後世始分別歟。今須据禮記之説」と述べて、五經の一つである『禮記』を重んずる立場から父母考妣が生前死後の異稱であることを認めながらも、古にあっては生前死後の区別なく稱謂され、後世別れたものではないかとしている。古にあっては生前死後の区別なく稱謂されていたとする考え方は、古くは郭璞に見られる。『爾雅』釋親の「父之考爲王父、父之妣爲王母」の條の郭璞注に「明此

非死生之稱也」とあり、又『方言』の「謂婦妣曰母嬪、稱婦考曰父嬪」の條の郭璞注に「古者通、以考妣爲生存之稱」とあるのがそれである。

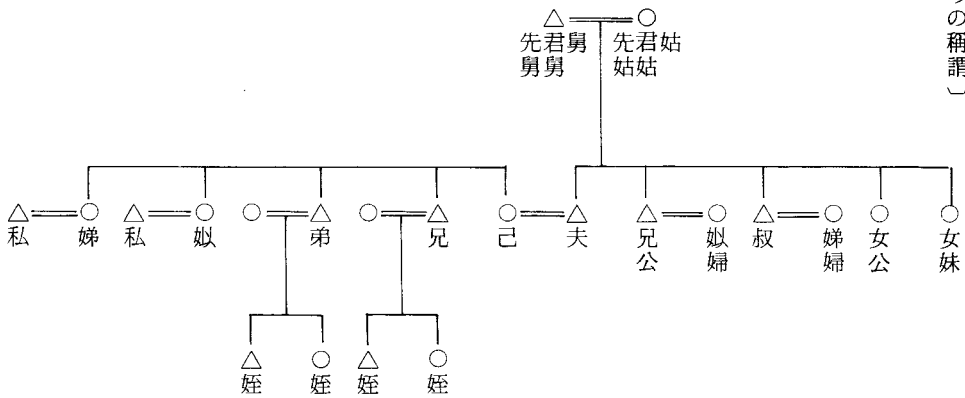
以上、父母考妣が生前死後の異稱でないとするれば、古より以来区別なく通稱されていたものであるか、あるいは、後世になってその区別を生じたものであるか、さらには、考妣の名称の由来は何に求めべきかが問題となってくる。吳卓信は、『釋親廣義』に「按古者父母考妣生死通稱。爾雅此句下文父之考爲王父、父之妣爲王母、卽例也。……然自曲禮有生曰父母・死曰考妣之説、爲人子者終當諱之爲是」と述べて、考妣とは子供が父母を諱むための稱謂であると述べて、父爲考、不稱老者、目爲小兒呼聲、考音同于考也」と述べて、父親を呼ぶ幼児の呼び声からきているとしている。加藤常賢氏（『支那古代家族制度研究』考妣の項）は、道德的解釈をして次のように述べている。即ち、考の字義は德行の完成した老人の意と見るのが最も妥当であるから、この考が家庭内の父親の稱謂となつたかは大した問題ではなく、父或は父世代者に対する尊敬の稱謂であるとしている。さらに妣に於いても、夫のある女を第三者が尊敬的に呼んだ所から起つたものであるから祖・考にも配して稱し得るものだと述べている。

次に私見を述べることにする。『孟子』萬章下の「堯典曰、二十有八載、放勳乃徂落、百姓如喪考妣」、『易』豫卦・象傳の「先王以作樂崇徳、殷薦之上帝、以配祖考」、『墨子』明鬼下の「歲於社

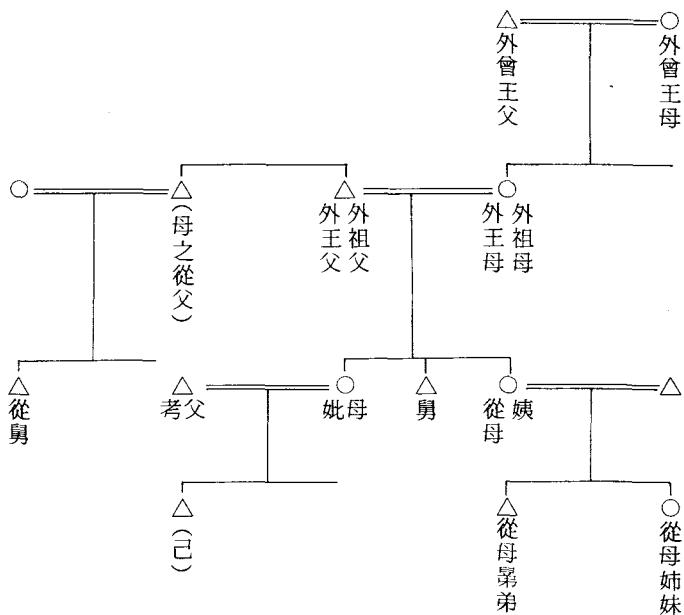
〔婚姻〕



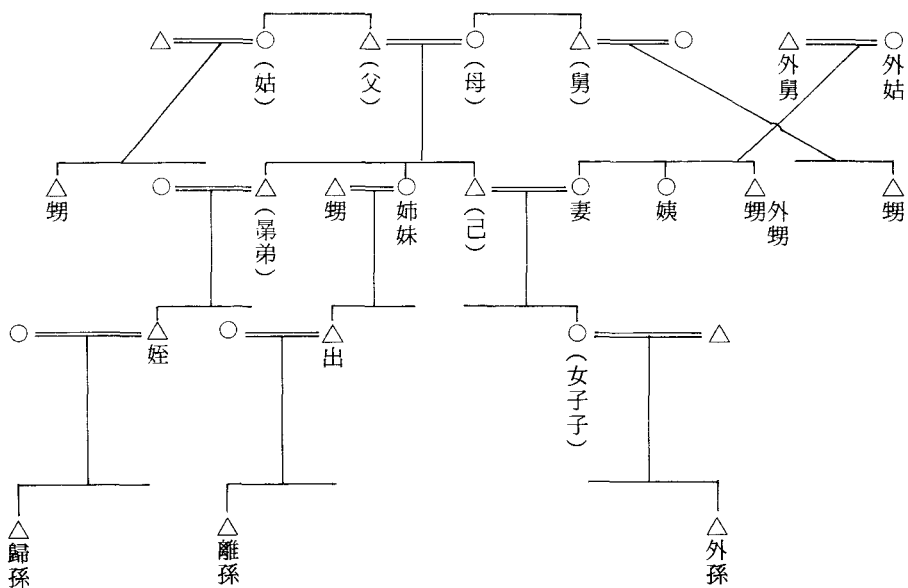
〔女性からの称谓〕



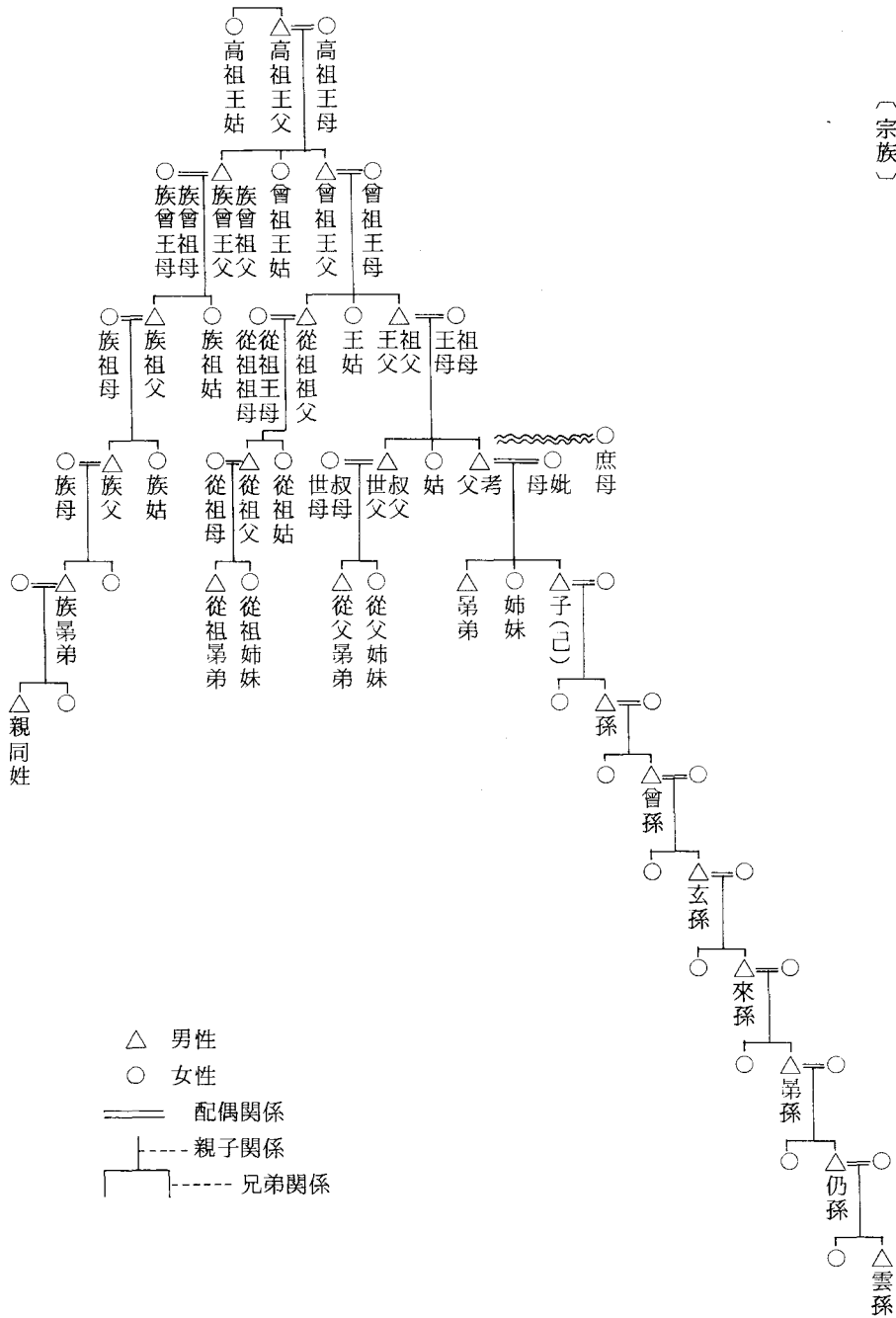
〔母黨〕



〔妻黨〕



〔宗族〕



ち祖の排行に属する族祖母の尊称が族祖王母であるとするのである。『爾雅』に従祖祖母を從祖王母と重複して示していることからすれば尤ものようである。しかし、從祖の祖字が祖の排行の祖ではなく從祖而別の祖であること、さらに『爾雅』に「祖、王父也」とあることからして祖母は即ち王母でなくてはならない。(郝懿行氏が、族祖字を曾祖より別れたことを示す語句と取っているにも拘らず、族祖王母を族祖祖母と解して王母を祖母と置き替えているのも尤ものである。)又、鄭珍氏自身も指摘しているように、族祖字ではなく族字を冠するのみであるとしていることからしても、祖の排行の族祖母は族王母でなくてはならないはずである。私は、族祖王母は族祖母の尊称ではなく、族祖王母の祖字は衍字であると考えたい。『爾雅』の「父之從父兄弟爲從祖父」の下文には「父之從祖兄弟爲族父」とあって、『儀禮』の族父と一致する。(『爾雅』の族曾王父・族曾王母と『儀禮』の族曾祖父・族曾祖母も一致している。)そして『爾雅』の「父之從父姊妹爲從祖姑」の下文に「父之從祖姊妹爲族祖姑」とあり、「父之從父兄弟之母爲從祖王母」の下文に「父之從祖兄弟之母爲族祖王母」と、さらに「父之從父兄弟之妻爲從祖母」の下文には「父之從祖兄弟之妻爲族祖母」とあるが、族祖王母・族祖母・族祖姑の祖字は、從祖王母・從祖母・從祖姑が前文にあることよって衍字として誤り入ったものと考えられる。郝懿行氏、邵晉涵氏が、『爾雅』にある族祖王母・族祖母・族祖姑の族祖字を曾祖より別れたことを示す語句と解し、又、鄭珍氏が、族祖王母を族祖母の尊称と解しているのは妥当でないといわなければならぬ。

④ 從祖王母は「父之從父兄弟之母・從祖王母」とあるが、父の

從父兄弟之母とは「父之從父兄弟爲從祖父」とあれば、從祖父の母にあたる。即ち從祖父の母とは、父の世母・叔母に相当し、「父之世母・叔母爲從祖祖母」とあることからさらに從祖王母と從祖祖母とは同一であることが判る。

⑤⑥⑦⑧ 注③を参照。

而別也」(『爾雅正義』)と述べ、族祖姑を族姑とすべきであるが、族祖姑とあるのは族祖より別れているからであるとしている。又、族祖母について郝懿行氏は、「父之從祖舅弟之妻爲族祖母者、上云父之從祖舅弟爲族父、故其妻爲族祖母、本爲族母、言祖者、亦如從母言從祖母之例」(『爾雅義疏』)と述べている。すなわち族祖母はもと族母であったが、族祖母と祖字をつけているのは、從母を從祖母といっている理由がその根拠であるとしている。しかし、從母は『爾雅』母党に「母之姊妹爲從母」とある如く、母の姊妹であつて母方に属しており、從祖母は『爾雅』宗族に「父之從父舅弟之妻爲從祖母」とある如く、從祖父の妻であり父方に属している。このことから、郝懿行氏が從母と從祖母とを同一視しているのは誤りであるとしなければならぬ。族祖王母については、郝懿行氏は、「上云從祖祖母、此言從祖王母一耳。父之從祖舅弟之母、是族父之母也、謂爲族祖王母、即族祖祖母也」(『爾雅義疏』)と述べて、族祖王母は族祖祖母のことであると述べている。さらに邵晉涵氏は、「父之從祖舅弟之母、即族父之母也、謂之族祖王母、言自族祖而奉以尊稱也」(『爾雅正義』)と述べて、族祖王母は尊称であるとしている。以上、郝懿行氏は、『爾雅』に族祖王母・族祖母・族祖姑の名称が見えることによつて、從祖字が祖より別れたことを示しているのと同様に、族祖字も曾祖より別れたことを示している語句とみなしている。なるほど族祖王母・族祖母・族祖姑の族祖字を取り去ると王母・母・姑となり、それぞれ祖の排行、父の排行に合致し、父の排行に属するにも拘らず族祖母・族祖姑となつていることの疑問は解けたかのようである。しかし、族祖字が曾祖より別れたことを示す語句であるとすれば、『爾雅』に族曾祖父母・族舅弟

となつていて、族祖曾祖父母・族祖舅弟となつていないのは疑問である。これについての郝懿行氏の論証はない。邵晉涵氏もやはり族祖姑を族姑であると解しながらも、郝懿行氏と同様に族祖字を以つて從祖の場合と同じであると考へている。鄭珍氏は、族祖字を曾祖より別れたことを示す語句であるとする邵晉涵氏の説を非として、「邵氏云、族祖母・族祖姑稱族祖者、言自族祖而別、夫言自某別者、謂彼於我從某世分也。故可言自祖而別、自父而別、自會祖而別。斷不可言自族祖而別。此義就己言、就所稱者言、俱無可通。邵說殊謬、……」と述べ、又、「按、儀禮喪服小功章稱從祖祖父母・從祖父母・從祖昆弟、凡三世。總麻章稱族曾祖父母・族祖父母・族昆弟、凡四世。是祖之親兄弟與其子・若孫稱、皆冠以從祖。曾祖之親兄弟與其子・若孫・若曾孫稱、皆冠以族。明甚。從祖、言其親從祖而別、非祖行之謂、猶其親從父而別者、稱從父、非父行之謂也。其親從會祖而別者、賈子六術篇亦稱從會祖而於正經、止稱族」(『巢經巢文集』卷第一・補正爾雅釋親宗族)と述べている。即ち從祖の祖字は祖の排行の祖ではなく、從祖而別の祖であつて祖より別れたことを從祖字で示しているとし、さらに族祖字をも曾祖より別れたことを示す語句とみなして、從祖と同じ意に取ることを非として邵晉涵氏の誤りを正している。『儀禮』に於いては既に鄭珍氏の指摘の如く、曾祖の排行・祖の排行・父の排行は俱に族字を冠しているだけである。しかし、『爾雅』の祖の排行に属する族祖王母に於いては、鄭珍氏は次の如く述べている。「父之從祖舅弟之母、本是祖行、故冠以族曰族祖。分男女、則曰族祖父・族祖母。從祖之尊稱、則曰族祖王父・族祖王母」(『巢經巢文集』卷第一・補正爾雅釋親宗族)。即

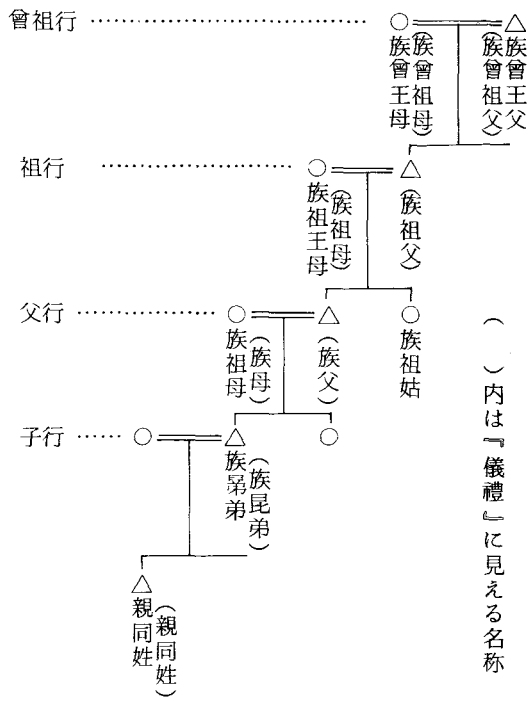
- 兩婿相謂爲_レ亞。『爾雅』
- 婦之黨爲_レ婚兄弟。『爾雅』
- 婿之黨爲_レ姻兄弟。『爾雅』
- 嬪、婦也。『爾雅』
- 謂_レ我舅者、吾謂_レ之甥。『爾雅』
- 舅謂_レ姊妹之子曰_レ甥。『釋名』

注

① 『爾雅』には「從父兄弟」のみ見えており、「從父姊妹」の解釈はない。しかし「父之從父姊妹爲_レ從祖姑」とあり、その名称だけは見える。「從祖姑」とは自己より見て父の從父姊妹に当たるといふことになるが、『儀禮』の「從父姊妹」の條の鄭注に「父之昆弟之女」とあれば、「從父姊妹」とは、自己より見て世父・叔父の子供に当たるとは明確である。

② 『爾雅』には「從祖兄弟」・「從祖姊妹」の解釈はないが、「父之從祖兄弟爲_レ族父」・「父之從祖兄弟之妻爲_レ族祖母」・「父之從祖兄弟之母爲_レ族祖母」・「父之從父姊妹爲_レ族祖姑」とあって、それぞれの名称だけは見える。「父之從祖兄弟」・「父之從祖姊妹」は、自己より見れば高祖の族に含まれ、「從祖兄弟」・「從祖姊妹」は、自己より見れば曾祖の族に含まれることは明確である。さらに『儀禮』の「從祖昆弟」の條の鄭注に「父之從父昆弟之子」とあり、『爾雅』に「父之從父兄弟爲_レ從祖父」とあれば、「從祖兄弟」とは自己より見て從祖父の子供に当たることが判明する。当然、「從祖姊妹」とは、從祖兄弟の姉妹のことである。

③ 注⑤⑥⑦⑧を含めて『爾雅』と『儀禮』とではそれぞれの名称が異っているが、図式化すると次の如くである。



『爾雅』の族祖母・族祖姑は、父の排行にあるにも拘らず祖字が含まれているのは疑問とする所である。以下このことについて検討してみる。先ず『爾雅』の族父についてみると、「父之從祖兄弟爲_レ族父」と、又、「父之從祖兄弟之妻爲_レ族祖母」とあり、族父の妻を族祖母であると解している。郝懿行氏もこれを受けて「族父亦當_レ爲_レ族祖父、如_レ下文族祖母之例。」（『爾雅義疏』）と述べ、族父とあるのは族祖父のことであり族祖母の夫であるとしている。次に族祖姑について郝懿行氏は、「父之從父姊妹爲_レ從祖姑、其義與_レ父之從父兄弟爲_レ從祖父一同、父之從祖姊妹爲_レ族祖姑、其義與_レ父之從祖兄弟爲_レ族父一同」（『爾雅義疏』）と述べて、族父の姉妹であるとしている。これに対して邵晉涵氏は、「上文云_レ父之從祖兄弟爲_レ族父、則父之從祖姊妹當_レ爲_レ族姑、今云_レ爲_レ族祖姑者、言_レ自_レ族祖

- 母之王考爲「外曾王父」。『爾雅』
- 母之王妣爲「外曾王母」。『爾雅』
- 母之舅弟爲「舅」。『爾雅』
- 母之從父舅弟爲「從舅」。『爾雅』
- 母之姊妹爲「從母」。『爾雅』
- 母之姊妹曰「姨」，亦如之、禮謂之「從母」。『釋名』
- 從母之男子爲「從母舅弟」、其女子子爲「從母姊妹」。『爾雅』

妻黨

- 妻之父爲「外舅」。『爾雅』
 - 妻之母爲「外姑」。『爾雅』
 - 姑之子爲「甥」。『爾雅』
 - 舅之子爲「甥」。『爾雅』
 - 妻之舅弟爲「甥」。『爾雅』
 - 妻之舅弟曰「外甥」。『釋名』
 - 姊妹之夫爲「甥」。『爾雅』
 - 妻之姊妹同出爲「姨」。『爾雅』
 - 妻之姊妹曰「姨」。『釋名』
 - 女子謂「姊妹之夫」爲「私」。『爾雅』
 - 姊妹互相謂「夫曰私」。『釋名』
 - 男子謂「姊妹之子」爲「出」。『爾雅』
 - 姊妹之子曰「出」。『釋名』
 - 女子謂「舅弟之子」爲「姪」。『爾雅』
 - 姑謂「兄弟之女」爲「姪」。『釋名』
- 傳曰、姪者何也、謂「吾姑」者、吾謂之「姪」。『儀禮』喪服·大功九月

- 謂「出之子」爲「離孫」。『爾雅』
- 謂「姪之子」爲「歸孫」。『爾雅』
- 女子子之子爲「外孫」。『爾雅』
- 女子同出謂「先生」爲「姒」、後生爲「娣」。『爾雅』
- 女子謂「兄之妻」爲「嫂」、弟之妻爲「婦」。『爾雅』
- 長婦謂「稚婦」爲「娣婦」、娣婦謂「長婦」爲「姒婦」。『爾雅』
- 長婦謂「少婦」曰「娣」、少婦謂「長婦」曰「姒」。『釋名』

婚姻

- 婦稱「夫之父」曰「舅」、稱「夫之母」曰「姑」。『爾雅』
- 姑·舅在、則曰「君舅·君姑」、没、則曰「先舅·先姑」。『爾雅』
- 謂「夫之庶母」曰「少姑」。『爾雅』
- 夫之兄爲「兄公」。『爾雅』
- 夫之兄曰「公」。『釋名』
- 夫之弟爲「叔」。『爾雅』
- 夫之姊爲「女公」。『爾雅』
- 夫之女弟爲「女妹」。『爾雅』
- 子之妻爲「婦」。『爾雅』
- 長婦爲「嫡婦」。『爾雅』
- 衆婦爲「庶婦」。『爾雅』
- 女子子之夫爲「壻」。『爾雅』
- 壻之父爲「姻」。『爾雅』
- 婦之父爲「婚」。『爾雅』
- 父之黨爲「宗族」。『爾雅』
- 母與「妻之黨」爲「兄弟」。『爾雅』
- 婦之父母、壻之父母相謂爲「婚姻」。『爾雅』

○父之妣爲「王母」。『爾雅』

○王父之考爲「曾祖王父」。『爾雅』

○曾祖父母。『儀禮』喪服・齊衰三月

○王父之妣爲「曾祖王母」。『爾雅』

○曾祖王之考爲「高祖王父」。『爾雅』

○曾祖王之妣爲「高祖王母」。『爾雅』

○父之世父・叔父爲「從祖祖父」。『爾雅』

○父之世母・叔母爲「從祖祖母」。『爾雅』

○父之舅弟先生爲「世父」、後生爲「叔父」。『爾雅』

○父之兄曰「世父」、……曰「伯父」、……父之弟曰「仲父」、……仲父

○之弟曰「叔父」、……叔父之弟曰「季父」。『釋名』

○男子先生爲「兄」、後生爲「弟」。『爾雅』

○舅、兄也。『爾雅』

○男子謂「女子先生」爲「姊」、後生爲「妹」。『爾雅』

○男子先生稱「兄」、後生稱「弟」、女子先生爲「姊」、後生爲「妹」。『白虎

通』三綱六紀引禮親屬記

○父之姊妹爲「姑」。『爾雅』

○父之從父舅弟爲「從祖父」。『爾雅』

○父之從祖舅弟爲「族父」。『爾雅』

○族父之子相謂爲「族兄弟」。『爾雅』

○族兄弟之子相謂爲「親同姓」。『爾雅』

○兄之子・弟之子相謂爲「從父兄弟」。『爾雅』

○從父姊妹。『儀禮』喪服・小功五月

○從祖昆弟。『儀禮』喪服・小功五月

○子之子爲「孫」。『爾雅』

○孫之子爲「曾孫」。『爾雅』

○曾孫之子爲「玄孫」。『爾雅』

○玄孫之子爲「來孫」。『爾雅』

○來孫之子爲「仍孫」。『爾雅』

○舅孫之子爲「仍孫」。『爾雅』

○仍孫之子爲「雲孫」。『爾雅』

○王父之姊妹爲「王姑」。『爾雅』

○曾祖王父之姊妹爲「曾祖王姑」。『爾雅』

○高祖王父之姊妹爲「高祖王姑」。『爾雅』

○父之從父姊妹爲「從祖姑」。『爾雅』

○父之從祖姊妹爲「族祖姑」。『爾雅』

○父之從父舅弟之母爲「從祖王母」。『爾雅』

○父之從祖舅弟之母爲「族祖王母」。『爾雅』

○族祖父母。『儀禮』喪服・總麻三月

○父之兄妻爲「世母」。『爾雅』

○父之弟妻爲「叔母」。『爾雅』

○父之從父舅弟之妻爲「從祖母」。『爾雅』

○父之從祖舅弟之妻爲「族祖母」。『爾雅』

○族父母。『儀禮』喪服・總麻三月

○父之從祖祖父爲「族曾王父」。『爾雅』

○父之從祖祖母爲「族曾王母」。『爾雅』

○族曾祖父母。『儀禮』喪服・總麻三月

○父之妾爲「庶母」。『爾雅』

母黨

○母之考爲「外王父」。『爾雅』

○母之妣爲「外王母」。『爾雅』

○外祖父母。『儀禮』喪服・小功五月

中国古代の親族名称について

(国語) 榎本 紘二

Kinship terminology of ancient China

Hiroji MASUMOTO

When we make clear the kinship structure of ancient China, we must catch familial relationships. The texts of *Erya* (「爾雅」), *Shi-ming* (「釋名」) and *Yi-li* (「儀禮」) contain many kinship terms. In this paper, the author tries to put in order kinship terminology of these texts and make a diagram of it.

中国古代の親族組織を考察する上に於いては、先ず血縁関係を示

宗族

している親族名称を明確にしていかなければならない。『爾雅』の釋親篇・『釋名』の釋親屬篇は比較的整理されているので便利である。しかし、これら二文献の他に『儀禮』・『禮記』・『方言』・『白虎通』等に散見している親族名称を拾い上げてより完全なものとする必要がある。次は、以上の文献に基づいて、親族名称を宗族・母党・妻党・婚姻に分類し図式化したものである。

。父爲考。『爾雅』

父甫也。始生己也。『釋名』

。母爲妣。『爾雅』

。父之考爲王父、祖王父也。『爾雅』

祖祚也。……又謂之王父、……王母亦如之。『釋名』

祖父母。『儀禮』喪服・齊衰不杖期

編 集 委 員

久 保 田	勲
山 岡	俊 比 呂
笠 松	義 隆
山 崎	勉
中 野	修 治
西 村	光 正

呉工業高等専門学校
研 究 報 告

第16卷 第2号 (1981)
(通卷 第27号)

昭和56年 1月印刷
昭和56年 1月発行

編集社 発行者	呉工業高等専門学校
	〒737 呉市阿賀南2丁目2-11 電話 呉(0823) 71-9121
印刷所	たくみ印刷株式会社
	〒733 広島市西区井口明神2丁目 電 話 (0822) 71-6111

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE



1. Areas of Difficulty for Japanese Learners of English
in Articulating English Consonants Junji ISHII . . .
2. A Method determining Sub-optimal Knot Placement
for B-Spline Interpolation Isao IMAI
Yutaka TOMITA . . .
3. Studies on the Connective Involutes and
Circular Arcs Cam (2nd Report)
— Oscillating Follower — Hironori ITOSHIMA . . .
4. Studies on the Connective Ellipses and Circular
Arcs Cam (2nd Report)
— Oscillating Follower — Hironori ITOSHIMA . . .
5. Studies of Visual Fatigue by Direct Glare Kazuhiko HARADA . . .
6. Basic Experimental Analysis on Lichtenberg's Figure (II)
(Creeping Discharge in SF₆ Gas) Masaaki WAKAMIYA . . .
7. Electron Energy Distribution Function
(calculation 2) Tsutomu YAMAZAKI . . .
8. A Numerical Solution for Flexural Wave Propagation in
Simply Supported Beams Kiyohiko KURŌ . . .
9. Inelastic Response Property of Structure to Simulated
Earthquake Motion Katsuaki MONZEN
Hisanao SYUNTOH . . .
Yuuji MATSUMOTO . . .
10. Kinship Terminology of Ancient China Hiroji MASUMOTO . . .
11. The Japanese Translation and Annotation
of *Chung-qiū Zheng-yi* (春秋正義) Part 2 Hiroji MASUMOTO . . .