

工学博士香川毓美君および工学博士永沢満君の「高分子電解質の

研究」に対する授賞審査要旨

分子鎖上に多数の解離基を有する一群の高分子化合物は高分子電解質と呼ばれ、現在国の内外において活発に研究されつつある。その理由の一つは、生体内で重要な機能を営む多くの高分子化合物、たとえばタンパク質、核酸などが、多かれ少なかれ分子上に解離基をもっているために、高分子電解質の研究が分子生物学上の重要性をもっているためであるが、高分子電解質の研究は工業上にも極めて重要な課題であるためである。すなわち高分子電解質は接着剤、化学繊維、イオン交換樹脂として以前から工業的に利用され、さらにイオン交換膜、選択的透過膜、高分子凝集剤などとして応用される分野が極めて広く、とくに近年は機能性高分子の一つとしてその重要性が注目されるなど、今後の発展に大きな期待がかけられている。

一般の高分子化合物の物性に関する研究は、高分子化学としてすでにある程度確立した学問分野を形成している。高分子電解質はこの鎖状高分子の多様な形態に基因する特異性に加えて、解離基の存在によるところの電解質の特異性を併せて示すために、特徴的な且つ複雑な挙動を示す。

本研究は香川毓美君によって名古屋大学工学部の開設と共に一九四〇年頃より開始され、従来国の内外を問わず個別的研究の域を脱しなかった各種の工業的に有用な高分子電解質の高分子的、電解質的特異挙動を総合的に解明すべ

く企画されたもので、その後永沢満君の参加によって研究は一段と強化され現在に至った。三十年余にわたり名古屋大学で香川・永沢両君およびその共同研究者によって実施された研究は、基礎的分野より各種工業化学的問題におよぶ広範なもので、その成果は既に約百編の報文として国の内外に発表され、この分野の工業における技術の進歩に欠くべからざる貴重な指針を与えている。とくにその基礎的研究は高分子電解質の学問体系を形づくるのに有益なものとして、今日国際的にも高く評価されている。以下にその大要を四項目に要約して説明する。

一、イオン固定理論の確立

高分子電解質は水溶液中で解離して多価の高分子イオンと多数の一価または二価の対イオンとなる。もし、高分子電解質の解離基が鎖状に結合しているのではなく、一価—一価電解質として溶けているならばカルボン酸、スルホン酸などのアルカリ塩の場合、それらは完全解離しているはずである。しかし乍ら高分子電解質の場合には、その熱力学的、電気化学的性質を観察すると、単にその一部しか解離せず、大部分の解離基はあたかも不解離であるかの如く見える。この現象は決してそれらの解離基が不解離になっているわけではなく、解離しているにも拘わらず、高分子イオンの強大な静電氣的引力によって高分子鎖近傍に引きつけられているために、そのように観察されるのである。

香川君は一九四四年（別記論文番号Ⅰの1）にこのことを指摘し、この現象に対し「イオン固定」と名付けた。またまこの時期は国際交流もなく同じような考え方が外国においても提唱されたが、香川君の指摘はこれら外国の研究者に比しても先駆的であり、またその研究を強力に推進し、永沢君らと共に今日の地位にまで発展させたことは注目すべきである。すなわち、イオン固定の物理的意義、あるいはイオン固定度の理論的予測などについて、その後、国の

内外の多数の研究者による研究がつづいたが、このイオン固定理論がその後の研究に対して果した指導的役割の意義は大きい。この分野において永沢君が Kohn 博士と共に NMR により高分子電解質の完全解離を確認(論文番号 I の 13)したことは特筆に値する。

さらにイオン固定度は高分子イオンの解離基密度のみの関数であって、その水溶液に加えられる中性低分子電解質の濃度には無関係にほぼ一定であること、すなわち、高分子電解質と低分子電解質の混合溶液中の平均の対イオン活量、あるいは浸透圧などが、高分子電解質および添加塩それぞれの水溶液中の値の、近似的であるが、和になるという事実が、永沢・泉・香川君(論文番号 I の 11)によって指摘されて以来、多数の研究によって確認された。この事實は工業上に、あるいは生体内諸現象において、高分子電解質の挙動を予測するに当り、その有効荷電密度を一定と仮定することが可能になったため、現在多くの研究者によって利用されている。

二、高分子弱酸の解離性研究とその応用

アクリル酸のような弱酸よりつくられた高分子酸は非常に価数の高い多価酸である。従ってこれを水酸化ナトリウムなどにて中和してゆくと、残りのカルボキシル基の解離定数は中和度の増加と共に低下し、次第に弱い酸となる。

一九三〇年代の Kern 教授によるバイオニア的研究はあるが、香川君はいち早くこの問題の重要性に着目し、一九四四年(論文番号 II の 1)に、高分子電解質の平均解離定数の解離度依存性に関し、実験式を提出しその後の研究の緒を開いた。その後、多くの研究があったが、とくに永沢君と Holzer 教授らの共同研究(論文番号 II の 7、8、10、14、15)の結果、今日では、もし高分子が棒状あるいは球状で形態変化がなければ、理論と実験が殆んど完全に一致

するまでになった。

この分野の研究は、以上の理論的研究の結果、電位差滴定曲線を利用して、ポリペプチド、タンパク質などの生体高分子がその固有の構造を保持するための力を実験的に決定出来る道が開かれたために非常に注目をあびるに至った。多くの人々の研究があるが、永沢君らによるポリグルタミン酸のヘリックス・コイル転移（論文番号IIの9）、 α ラクトグロブリンの解離、会合（論文番号IIの14）、DNAの融解（論文番号IIの16）の非静電自由エネルギーの決定は、いづれもその分野の研究としては最初のものであり、また立体規則性高分子電解質の溶液中のコンフォメーション決定（論文番号IIの10、12、13）も見逃せない。

三、高分子電解質溶液の熱力学的性質

高分子電解質は鎖状高分子であると同時に多価電解質であるために、その溶液の熱力学的性質は理想溶液状態から極端にはずれていて、極めて特徴的な挙動を示す。これらの特徴は一九四〇年代から五〇年代にかけての Kern, Fuoss, Katchalsky, Hermans 教授並びに香川君らの研究によって順次明らかにされて来た。前出の永沢・香川君らによるイオン活量の研究（論文番号Iの11）もその一例である。しかし、これらの断片的な研究が一つの統一的な見解としてまとめられるためには、高橋・香川君らによるところの高分子電解質溶液の θ 状態の発見（論文番号IIIの6、10）に引つづき行われた高橋・加藤・永沢君の分子量並びに添加塩濃度を広範に変化させた光散乱の測定（論文番号IIIの11）が重要な役割を果たした。これらの研究により、今日では高分子電解質溶液の熱力学的非理想性は鎖状高分子の屈曲性による部分と、高分子イオンの周りの対イオン分布などの電解質的原因による部分とに分けて定量的に議論され

るに至った。その結果 Alexandrowicz, Manning 教授らをはじめ多くの研究者によって高分子電解質溶液の熱力学的非理想性に関する理論が提出されつつある。無添加塩溶液の浸透圧係数とイオン活量係数の関係など未解決問題も残されているが、稀薄溶液の非理想性の研究は一つの段階に到達したといえる。

四、高分子電解質の流体力学的性質

流体力学的性質は主に高分子イオンコイルの慣性半径によって決定される。高分子イオンの慣性半径に対する理論は、高分子鎖上の荷電間の反撥力の計算を基にして多数の人々によって提出されている。これらの理論は高分子イオンコイルの極限粘度数の実測値と対比検討されるが、従来はイオン強度のみを変えて得られた実測値が比較に用いられていたために、多くの理論の優劣に関し決定的な結論は得られていなかった。これに対し、高橋・永沢君(論文番号IVの18)は注意深く分別した試料を用いて、分子量、イオン強度を変えて、さらに野田・柘植・永沢君(論文番号IVの23)は分子量、イオン強度のみならず高分子の荷電密度を変えて広範なデータを提出し、従来の理論と対比した。これらのデータは現在でも他に類するものがなく、常に国際的に引用されている。とくに野田君らと共著の論文において従来の理論の基本的仮定を解析し、現状では真に満足出来る理論は未だ見出されないことを指摘したことは、今後の研究の方向に示唆を与えるものとして重要である。なおこの理論と実験の不一致は、一つには高分子イオンの慣性半径が極限粘度数から計算された等価球モデルに基づく流体力学的半径に比例していると仮定していることにある可能性が、前出の高橋・加藤・永沢君(論文番号IIIの11)による光散乱法を用いた慣性半径の測定結果によって明瞭に示されていることも重要である。

また粘度のみならず沈降、拡散、電気泳動など、その他の流体力学的性質に関しても、野田・永沢君らによって広範な研究が報告されていて、つねにその分野の引用文献になっている。特に、高分子イオンの運動は二つの因子、すなわち慣性半径と高分子イオンの周りのイオン雲囲気によって決定されることを指摘し、沈降の場合にこの両効果を実験的に分離したこと（論文番号IVの21）、電気泳動の場合にイオン強度が高くなると流体力学的に素抜けコイルとして挙動することを実験的にはじめて確認したことなどは高く評価できる（論文番号IVの11、20およびIの17）。また同一試料を用いて沈降、拡散、粘度、光散乱などのデータを得たために、それらの間の定量的な関係が明らかになった。沈降、拡散のデータから計算した第2ビリアル係数と光散乱から求めた値との一致もはじめて確認された（論文番号IVの21、22）。

その他無塩系における高分子電解質の拡散は、特異な拡散前線を示し、あたかもゲルの膨潤のように挙動することを実験的、理論的に説明したことも、無塩系における高分子電解質の特異性の例として注目に値する（論文番号IVの12、19）。

以上のほかに固体高分子電解質ともいふべきイオン交換樹脂、荷電膜に関する香川・永沢君らの研究も国際的に高く評価されているが論文目録をあげるに止める。

本研究のように複雑な現象を系統的に説明しようとする場合には広い分野の多種類の研究を行う必要がある。本研究は香川君の企画遂行につづいて、永沢君が参加し、後に同君にうけつがれたものである。両者の緊密な連携研究によって今日の高いレベルになったことを考えれば、両君の研究を一つにまとめ、両君の共同研究として授賞するのが

田村伸太郎、神野田鶴

I イオン固定理論の確立

1. 香川毓美：高分子電解質の電離性に関する 2, 3 の考察 工化 47, 435 (1944).
2. 香川毓美・津村健児：纖維素グリコール酸の電離性について 工化 47, 437 (1944).
3. 香川毓美・山田博・今井忠行：高分子電解質溶液の滲透圧現象について 工化 53, 120 (1950).
4. I. Kagawa and K. Katsunura: Activity Coefficient of Byions and Ionic Strength of Polyelectrolyte Solutions. J. Polymer Sci. 9, 405 (1952).
5. I. Kagawa: Osmotic Pressure Studies on Polyelectrolyte Solutions. Japan Science Review (Eng. Sci.) 2, 367 (1952).
6. 香川毓美・勝浦嘉久次：高分子電解質溶液における副イオンの活量係数とイオン強度 工化 56, 189 (1953).
7. F. Osawa, N. Imai and I. Kagawa: Theory of Strong Polyelectrolyte Solutions. J. Polymer Sci. 13, 93 (1954).
8. I. Kagawa and M. Nagasawa: Activity Coefficient of Counterion in Salt-free System. *ibid.* 16, 299 (1955).
9. I. Kagawa and K. Katsunura: Activity of Counter Ion in Polyelectrolyte Solutions. *ibid.* 17, 365 (1955).
10. M. Nagasawa and I. Kagawa: Colligative Properties of Polyelectrolyte Solutions. IV. Activity Coefficient of Sodium Ion. *ibid.* 25, 61 (1957).
11. M. Nagasawa, M. Izumi and I. Kagawa: Colligative Properties of Polyelectrolyte Solutions. V.

Activity Coefficients of Counter- and By-ions. *ibid.* 37, 375 (1959).

12. M. Nagasawa, A. Takahashi, M. Izumi and I. Kagawa: Colligative Properties of Polyelectrolyte Solutions. VI. Donnan Membrane Equilibrium. *ibid.* 38, 213 (1959).
 13. L. Kotin and M. Nagasawa: A Study of the Ionization of Polystyrene Sulfonic Acid by Proton Magnetic Resonance. *J. Am. Chem. Soc.* 83, 1026 (1961).
 14. 野田一郎・香川毓美: 高分子強塩基の研究 (III) ポリビニルベンジルトリメチルアンモニウム塩水溶液の浸透圧, 電導度および粘度 工化 66, 1927 (1963).
 15. 野田一郎・香川毓美 同上 (IV) 各種塩類溶液中におけるポリビニルベンジルトリメチルアンモニウム塩の光散乱及び粘度 工化 67, 1423 (1964).
 16. 野田一郎・香川毓美 同上 (V) 高分子塩基の溶液性状における第四アンモニウム基の種類と対イオン固定との関連性の検討 工化 68, 987 (1965).
 17. M. Nagasawa, I. Noda, T. Takahashi and N. Shimamoto: Transport Phenomena of Polyelectrolytes in Solution under Electric Field. *J. Phys. Chem.* 76, 2286 (1972).
- II 高分子弱酸の解離性研究とその応用
1. 香川毓美: 高分子電解質における電離性の特殊恒数について 工化 47, 574 (1944).
 2. 香川毓美・勝浦嘉久次: 高分子酸の解離平衡とその塩類効果について 工化 53, 79 (1950).
 3. 香川毓美・勝浦嘉久次・芥藤篤義: 高分子弱電解質の解離平衡に及ぼす中和剤の影響について 工化 54, 95 (1951).
 4. I. Kagawa and K. Katsuura: On the Dissociation Equilibrium of High-Molecular Weak Electrolytes. *J. Polymer Sci.* 7, 89 (1951).
 5. I. Kagawa and H. P. Gregor: Theory of the Effect of Counterion Size upon Titration Behavior

- of Polycarboxylic Acids. *ibid.* 23, 477 (1957).
6. M. Nagasawa and S. A. Rice: A Chain Model for Polyelectrolytes. A Study of the Effects of Local Charge Density. *J. Am. Chem. Soc.* 82, 5070 (1960).
 7. I. Kotin and M. Nagasawa: Potentiometric Titration and Ion Binding in Solutions of Linear Polyelectrolytes. *J. Chem. Phys.* 36, 873 (1962).
 8. M. Nagasawa and A. Holtzer: The Use of the Debye-Hückel Approximation in the Analysis of Protein Potentiometric Titration Data. *J. Am. Chem. Soc.* 86, 531 (1964).
 9. M. Nagasawa and A. Holtzer: The Helix-Coil Transition in Solutions of Polyglutamic Acid. *ibid.* 86, 538 (1964).
 10. M. Nagasawa, T. Murase and K. Kondo: Potentiometric Titration of Stereoregular Polyelectrolytes. *J. Phys. Chem.* 69, 4005 (1965).
 11. M. Nagasawa and I. Noda: The Effect of Added Neutral Salt on the Isoionic pH of Proteins and Synthetic Polyampholytes. *J. Am. Chem. Soc.* 90, 7200 (1968).
 12. Y. Muroga, I. Noda and M. Nagasawa: Nuclear Magnetic Resonance Investigation of Conformation of Isotactic Polyelectrolytes in Aqueous Solution. *J. Phys. Chem.* 73, 667 (1969).
 13. Y. Kawaguchi and M. Nagasawa: Potentiometric Titration of Stereoregular Poly-(acrylic acids). *ibid.* 73, 4382 (1969).
 14. M. Nagasawa and A. Holtzer: Dissociation Equilibrium and Potentiometric Titration of β -Lactoglobulin in Acid Solutions. *J. Am. Chem. Soc.* 93, 606 (1971).
 15. Y. Muroga, K. Suzuki, Y. Kawaguchi and M. Nagasawa: Potentiometric Titration of Polyelectrolytes Having Stiff Backbones. *Biopolymers* 11, 137 (1972).
 16. M. Nagasawa and Y. Muroga: The Effect of Charges on the Melting of DNA. *ibid.* 11, 461

(1972).

III 高分子電解質溶液の熱力学的性質

1. 香川毓美・福田守：滲透圧による纖維素グリコール酸ソーダの分子量測定について 工化 54, 97 (1951).
2. 香川毓美・高橋彰：滲透圧法によるアルギン酸の分子量測定並びにその粘度，分子量関係について 工化 56, 252 (1953).
3. 永沢端・名古屋寿男・香川毓美：高分子電解質溶液の Donnan 膜平衡 工化 57, 9 (1954).
4. 高橋彰・林順彦・香川毓美：浸透圧法によるポリアクリル酸ソーダの分子量測定 工化 60, 1059 (1957).
5. 高橋彰・香川毓美：高分子電解質溶液の浸透圧の測定条件と第二ビリアル係数 工化 64, 1469 (1961).
6. 高橋彰・香川毓美：高分子電解質溶液の相分離と分別沈澱 工化 64, 1637 (1961).
7. 高橋彰・香川毓美：高分子電解質の分別溶解 工化 64, 1641 (1961).
8. 高橋彰・香川毓美：ポリビニルアルコール硫酸セルロースのナトリウム塩の浸透圧係数 工化 83, 6 (1962).
9. 高橋彰・香川毓美：ポリスチレンスルホン酸およびナトリウム塩の浸透圧係数 工化 83, 9 (1962).
10. 高橋彰・矢守征三郎・香川毓美：ポリアクリル酸ナトリウム—中性塩系の θ 温度 工化 83, 11 (1962).
11. A. Takahashi, T. Kato and M. Nagasawa: The Second Virial Coefficient of Polyelectrolytes. J. Phys. Chem. 71, 2001 (1967).
12. A. Takahashi, N. Kato and M. Nagasawa: The Osmotic Pressure of Polyelectrolyte in Neutral Salt Solution. *ibid.* 74, 944 (1970).

IV 高分子電解質の流体力学的性質

1. 香川毓美・津村健児：纖維素グリコール酸溶液における電気粘性効果について 工化 47, 576 (1944).
2. 香川毓美・香田昌也：溶液粘度と分子形状との関係 工化 52, 55 (1949).

3. 香川毓美・渡辺秀能：電解基密度の粘度に及ぼす影響 工化 52, 56 (1949).
4. 香川毓美・勝浦嘉久次・斉藤篤義：纖維架グリコール酸塩溶液の電導度について 工化 54, 394 (1951).
5. 香川毓美・勝浦嘉久次・石井正雄：電導度に及ぼす温度の影響について 工化 56, 857 (1953).
6. I. Kagawa and R. M. Fuoss: Viscometric Behavior of Polyacrylate Ion in Concentrated Salt Solutions. *J. Polymer Sci.* 19, 535 (1955).
7. 永沢満・小沢周二・木村喜久男：高分子電解質のイオン当量電導度 工化 59, 1201 (1956).
8. M. Nagasawa, S. Ozawa, K. Kimura and I. Kagawa: Ionic Conductance of Polyelectrolytes in Salt-free Systems. *Memoirs Fac. Eng. Nagoya Univ.* 8, 50 (1956).
9. 永沢満・曾田敦彦・白岩治巳・香川毓美：高分子電解質溶液の直流電導度 工化 60, 1164 (1957).
10. M. Nagasawa and I. Kagawa: Polyon in Simple Salt Solution. *Bull. Chem. Soc. Japan* 30, 961 (1957).
11. M. Nagasawa, A. Soda and I. Kagawa: Electrophoresis of Polyelectrolyte in Salt Solutions. *J. Polymer Sci.* 31, 439 (1958).
12. 永沢満・松原隆・藤田博・香川毓美：高分子電解質の膨潤溶解過程 工化 61, 1611 (1958).
13. M. Nagasawa: Expansion of a Polyon in Salt Solutions. *J. Am. Chem. Soc.* 83, 300 (1961).
14. 高橋彰・亀井卓・香川毓美：光散乱による高分子電解質のひろがり 日化 83, 14 (1962).
15. 曾田敦彦・香川毓美：高分子電解質の摩擦的性質 日化 83, 412 (1962).
16. 高橋彰・曾田敦彦・香川毓美：各種塩類溶液のポリマクリル酸の光散乱、粘度及び沈降 日化 83, 873 (1962).
17. G. Thomson, S. A. Rice and M. Nagasawa: A Chain Model for Polyelectrolytes. The Effects of Chain Length and Charge on the Friction Constant. *J. Am. Chem. Soc.* 85, 2587 (1963).
18. A. Takahashi and M. Nagasawa: Excluded Volume of Polyelectrolyte in Salt Solutions. *ibid.* 86, 543 (1964).

19. M. Nagasawa and H. Fujita: Diffusion of a Polyelectrolyte in Aqueous Solution in the Absence of Added Salt. *ibid.* 86, 3005 (1964).
20. I. Noda, M. Nagasawa and M. Ōta: Electrophoresis of a Polyelectrolyte in Solutions of High Ionic Strength. *ibid.* 86, 5075 (1964).
21. M. Nagasawa and Y. Eguchi: The Charge Effect in Sedimentation. I. Polyelectrolyte. *J. Phys. Chem.* 71, 880 (1967).
22. Y. Suzuki, I. Noda and M. Nagasawa: The Diffusion of Polyelectrolyte in the Presence of Added Salt. *ibid.* 73, 797 (1969).
23. I. Noda, T. Tsuge and M. Nagasawa: The Intrinsic Viscosity of Polyelectrolytes. *ibid.* 74, 710 (1970).
24. T. Takahashi, T. Noda and M. Nagasawa: Electrophoresis of a Rod-like Polyelectrolyte in Salt Solution. *ibid.* 74, 1280 (1970).
25. M. Sakai, I. Noda and M. Nagasawa: Steady Flow Measurements on Moderately Concentrated Solutions of Poly(sodium acrylate). *J. Polymer Sci. (A-2)* 10, 1047 (1972).
26. K. Terajima, I. Takahashi and M. Nagasawa: Determination of the Charge Density Distribution of Polyelectrolytes by Electrophoresis. *Polymer J.* 8, 449 (1976).

V 関連研究

V-A 高分子電解質の調製、反応などに関する研究

1. 香川毓美: 濃硫酸による繊維素の硫酸化について *織学誌* 1, 667 (1944).
2. 香川毓美: 濃硫酸による各種硫酸繊維素調製法 *織学誌* 1, 681 (1944).
3. 香川毓美・勝浦嘉久次: 硫酸繊維素の安定性とその硫酸化速度について *織学誌* 2, 1 (1946).

4. 香川毓美・勝浦嘉久次：硫酸纖維素のアルカリ燻化について 織学誌 2, 5 (1946).
 5. 香川毓美・勝浦嘉久次：硫酸纖維素の凝膠性について 工化 52, 100 (1949).
 6. 香川毓美・勝浦嘉久次：ビスコークスの凝膠性と熟成度試験 工化 52, 144 (1949).
 7. 小林治男・香川毓美：ビスコークスの熟成反応の研究 (I) サントレン酸纖維素の分解機構とその反応速度について 工化 53, 249 (1950).
 8. 小林治男・香川毓美：同上 (II) ビスコークス熟成中の各種塩類の組成変化について 工化 53, 289 (1950).
 9. 勝浦嘉久次・斉藤篤義・香川毓美：纖維素グリコール酸の製造研究 織学誌 6, 268 (1950).
 10. I. Kagawa and H. Kobayashi: Ripening Reactions of Viscose. J. Polymer Sci. 9, 421 (1950).
 11. 高橋彰・永沢清・香川毓美：ポリビニルアルコール硫酸エステルの調製とその粘度式の決定 工化 61, 1614 (1958).
 12. 高橋彰・下山溲一・香川毓美：ポリスチレンスルホン酸の調製とその2, 3の性状 工化 61, 1617 (1958).
 13. 野田一郎・香川毓美：高分子強塩基の研究 (I) ポリスチレンのクロルメチル化および縮かけ反応 工化 66, 854 (1963).
 14. 野田一郎・香川毓美：同上 (II) クロルメチル化ポリスチレンのアミノ化 工化 66, 857 (1963).
- V-B イオン交換樹脂, 荷電膜に関する研究
1. 香川毓美・佐藤進：イオン交換樹脂の研究 (I) イオン交換反応の平衡条件について 工化 53, 85 (1950).
 2. 香川毓美・笠師柳三：同上 (II) アニオン交換剤の交換反応機構 工化 53, 126 (1950).
 3. 香川毓美・笠師柳三：同上 (III) アニオン交換平衡に及ぼす電解基密度の影響について 工化 54, 177 (1951).
 4. 香川毓美・笠師柳三：同上 (IV) アニオン交換平衡に及ぼす温度の影響と交換熱について 工化 54, 242 (1951).
 5. M. Nagasawa and Y. Kobatake: Theory of Membrane Potential. J. Phys. Chem. 56, 1017 (1952).

6. 永沢満・小沢周二・香川毓美：イオン交換樹脂の研究 (V) イオン交換樹脂の電解再生 工化 57, 372 (1954).
7. M. Nagasawa and I. Kagawa: Membrane Potentials of an Ion Exchange Membrane. *Faraday Soc. Disc. No. 21*, 52 (1956).
8. 永沢満・石谷博・香川毓美：弱塩基性イオン交換樹脂の解離平衡 工化 61, 806 (1958).
9. M. Tasaka, S. Morita and M. Nagasawa: Membrane Potential in Non-isothermal Systems. *J. Phys. Chem.* 69, 4191 (1965).
10. 田坂雅保・香川毓美：イオン交換膜による塩類濃縮の研究 (I) 塩類濃縮の電解条件とその解析 工化 68, 1646 (1965).
11. 田坂雅保・香川毓美：同上 (II) 塩類濃縮における電力消費量 工化 68, 1651 (1965).
12. 田坂雅保・平井晴弘・香川毓美：同上 (III) 塩類の二段濃縮による高濃度濃縮 工化 68, 1655 (1965).
13. 田坂雅保・香川毓美：同上 (IV) 塩類濃縮における脱塩室機度の影響 工化 69, 1100 (1966).
14. M. Tasaka, Y. Kondo and M. Nagasawa: Anomalous Osmosis through Charged Membranes. *J. Phys. Chem.* 72, 3181 (1969).
15. M. Tasaka and M. Nagasawa: Non-isothermal Membrane Phenomena through Charged Membranes. *J. Polymer Sci. (C)* 49, 31 (1975).
16. M. Tasaka, N. Aoki, Y. Kondo and M. Nagasawa: Membrane Potentials and Electrolyte Permeation Velocities in Charged Membranes. *J. Phys. Chem.* 79, 1807 (1975).

VI 著書, 総説

1. S. A. Rice and M. Nagasawa: "Polyelectrolytes Solutions" (book) Academic Press, N. Y. (1962).
2. M. Nagasawa: "Potentiometric Titration and Conformation of Synthetic and Natural Polyelectro-

- lytes". Pure and Applied Chem. 26, 519 (1971).
3. M. Nagasawa and A. Takahashi: "Light Scattering from Polyelectrolyte Solutions". p. 671 in "Light Scattering from Polymer Solutions". ed. by M. Huglin, Academic Press, London (1972).
 4. M. Nagasawa: "Ion Binding Phenomena of Polyelectrolytes". p. 57 in "Polyelectrolytes". ed. by E. Selegny, D. Reidel Pub. Co., Dordrecht-Holland (1954).
 5. M. Nagasawa: "Sedimentation and Diffusion of Polyelectrolytes in the Presence of Added Salt". p. 241 in "Polyelectrolytes". ed. by E. Selegny (ibid.).
 6. M. Nagasawa: "Thermodynamic and Hydrodynamic Properties of Polyelectrolytes". J. Polymer Sci. (Polymer Review) 49, 1 (1975).
 7. 永沢滿 "高分子凝集剤のための高分子電解質溶液論" 高分子学会編「水処理の高分子科学と技術」下巻 p. 82 (地人書館) (1976).
- 他綜説約 10 編