

## 小島陽之助先生の思い出 ～研究の歩みをたどる～

北海道大学名誉教授 上田 哲男

### 1. はじめに：研究ってなんですか？

小島先生が亡くなられて 35 年になる。薬品物理学講座を 1971 年～1988 年にわたり主宰された。還暦を迎えられたところのこと、「最終講義ではみんな自分の業績を話すか、俺は違う。過去ではなく将来を語りたい」とおっしゃっていた。3 年も前から準備するのかと驚いたのだが、期待していたその講義を聴くことは叶わなかった。

筆者は 1969 年～1988 年までの約 20 年間、阪大理学研究所から北大薬学研究所まで先生の指導を受けた。「芳香」に「小島先生の思い出」を依頼されて、記憶を巡らせていると、先生との最初の出会いが浮かんで来た。講座配属されてすぐの頃だった。小島先生に尋ねた。

「研究ってなんですか」。

「研究はおとぎ話だよ、一生かけて書き続けていくものだよ」。

本稿は小島先生のおとぎ話である。公表された文献をたどり、先生が歩まれたすべての研究の足跡を探り、先生との思い出を織り交ぜて綴ったものである。

### 2. 事の起こり

小島先生は、終戦のとき江田島の海軍兵学校におられたと耳にしている。しかし先生からこのことについて筆者は一言も聞いていない。

1950 年、小島先生は東京工業大学工学部有機材料科を卒業された。しかし就職口が見つからず、特別研究生前期として過ごす。奨学金は全員に行き渡らなかったため、プール制にして参加者全員で分けたという。ところがその返済に本人は関わっていないという！

最初に取り組みされたテーマは接着であった。接着力は分子間力に基づく。それならば接着力を精密に測定すれば分子間力がわかるはずだ。しかし接着の強さは、分子間力というよりは、材料の欠陥によることがわかったので、このテーマを追求することを止めたという。しかし決して投げ出したのではない。成果をまとめてこの分野にケジメをつけている。

1952 年には、Meyer & Theorell 理論(1936 年)の欠点を指摘し、膜電位の新しい方程式を導いた共著論文がある<sup>1)</sup>。これが小島先生の研究の原点だと思われる。First author の永澤満先生は、このとき名古屋大



写真：小島陽之助先生(1980 年頃)

学工学部応用化学科の所属である。1946 年東京工業大学工学部応用化学科を卒業され、1951 年に名古屋大学講師に着任されたのだ。小島先生の 4 年先輩にあたる。これらを考慮すると、永澤・小島の両名は大学院生の時に、当時評価されていた膜電位現象の理論を読みこなし、その不備を整理してこの論文を書き上げたことになる。

### 3. 研究の方向性：膜現象に対する非平衡熱力学の応用

1956 年(昭和 31 年)に、東工大の助手になられた。この年に小島先生は、「高分子膜のイオン透過性」と題する総説を日本物理学会誌に寄稿されている<sup>2)</sup>。最初の箇所を引用する。

『二つ電解質溶液が被膜によって距てられている時、与えられた条件によって、膜電位差、イオンの選択透過、溶液浸透等々、様々な電気化学的現象が現われる。これらはいずれも、膜のイオン透過性によって発生する現象であり、最初 Michaelis, Loeb 等生物学者が主として取扱っていたが、1935～6 年頃から Theorell, Meyer 等物理化学者に興味を持たれ、理論的にも実験的にも急速に発展した。特に最近イオン交換膜の合成によって、次に述べるように種々の面で model membrane として絶好の膜が作られるように

なり、理論の検討と生体膜への model, そして新しく理工学への応用と、意外な面にまで進展しつつある。とはいえ、物理学者の最も興味を持つ生体膜の特異性を解明するには、我々の物理化学的知識からは未だ乗越えられない幾つかの障碍があるように思われる。そこで此処では、生体膜や工学的応用には直接触れず、横目でにらみながら、model 膜としてのイオン交換膜の最近を概観することにする。・・・(中略)・・・最後に本稿は、筆者の不勉強で文献がしらべつくせず、膜の電気化学の中でも極く限られた分野で、しかも一面的見方をした事をおわび致します。(東工大 小島陽之助)』注:アンダーラインは筆者による。

小島先生は、横目でにらんでおることが出来ず、生体膜や工学的応用を自らの研究として推進されることになる。

1958 年に、2 つの単著論文「膜における電気化学的不可逆過程」(Irreversible Electrochemical Processes in Membranes)がある<sup>3,4)</sup>。不可逆過程の熱力学を基礎に研究を推進することに定まる。論文は received 1956, March 19 であるので、実際の研究は 1956 年以前に行われた。

#### 4. なぜか Hildebrand との共著論文

1961 年に、Hildebrand(1881-1983)との共著論文「ガス溶解度の正則性」<sup>5)</sup>がある。ヒルデブランドは 1961 年には 80 歳になっていたが、University of California, Berkeley で研究・教育に携わっていた。

この論文は小島先生の研究の流れから外れている。その理由を先生から聞いている。「ヒルデブランドのところに行ったのは、あのような高齢になっても、どうして研究を続けることが出来るのかに興味があったからだ」。何を学ばれたかは、聞いていない。訊ねても返事は「自分で見つけろ」に違いない。

後に(1981 年)、Hildebrand の 100 歳の誕生日祝いによられた。また当時のポストドク仲間たちは母国で教授となっており、Sabbatical leave で小島先生を訪ねてきた。客人のお相手は研究室の学生の役目で、諸外国の状況に接する機会が頻繁にあった。

#### 5. アメリカ NIH との交流と毛細管モデルの理論構築

1962 年、大阪大学理学部高分子科学の助教授に就任された。藤田博教授が主宰する高分子溶液論講座である。小島先生はこの頃頻繁にアメリカの NIH に出張して、毛細管の輸送現象に関連する情報収集

を行っている。この膜系では、電流—電圧関係にフリップ・フロップ現象、また振動現象など興味深い振る舞いが見られるからだ。1964 年にこの現象の理論的研究が小島・藤田により報告された<sup>6)</sup>。論文に神経生理学者である Dr. Tasaki への謝辞がある。彼は神経興奮のメカニズムを探るために、capillary model でも実験していたのだ。この縁で 10 年後に Dr Tasaki は、北大薬学部でヤリイカの巨大神経軸索の内部選流実験することになる。

この年(1964 年)P. Glansdorff, I. Prigogine.による「巨視的な体系が時間的に発展する規範」と題する理論が発表された<sup>7)</sup>。小島先生は、この一般理論を毛細管モデルの挙動に適用した解析を直ちに始められたと思われる。「荷電膜の 2 つの定常状態間の転移」(1970)という論文にまとまる<sup>8)</sup>。

#### 6. 阪大理学部高分子学科で藤田教授との膜現象の研究

阪大での仕事は、「膜現象の研究」(Studies of membrane Phenomena Part1~Part7)と題する論文として、1965 年~1968 年にかけて発表された。内容は順に、1. 膜電位<sup>9)</sup>、2. 膜電位の理論<sup>10)</sup>、3. 膜の電気抵抗<sup>11)</sup>、4. 膜電位と透過性<sup>12)</sup>、5. 溶液の流れ<sup>13)</sup>、6. 体積流のさらなる研究<sup>14)</sup>、7. 膜の有効荷電密度<sup>15)</sup>である。

1969 年、小島先生はニューヨーク州立大バッファロー生物物理学科に visiting professor として招聘された。おそらくこの時のことであると思われる。「教授職を offer されたのだが、日本でしなければならぬことがあると辞退したよ。今もあの提案は生きているかな？」と聞いたことがある。筆者の就職口が見つからなかった頃である。

#### 7. 藤田研究室に小島グループの誕生

小島先生は 2 つのテーマを、独立性を持って推進されるようになる。

##### A. 膜の有効荷電密度:高分子電解質含有コロジオン膜

先行の「膜現象の研究」によって、膜現象は有効荷電密度という1つのパラメータによって記述できることがわかった。次なる課題は、このパラメータを実験的に決定できる実験系を構築し、理論の正当性を示すことである。小島先生は、コロジオンに高分子電解質を混ぜ込んだ膜を調整することで、これを達成した。コロンプスの卵である。研究結果は「膜現象を支

配する有効荷電密度」(Part 1~Part6)と題して、1971年~1973年に報告された。

- Part 1 低分子イオンの移動度と活量係数<sup>16)</sup>,
- Part 2 流体力学的に有効な荷電<sup>17)</sup>,
- Part 3 低分子イオンの輸率<sup>18)</sup>,
- Part 4 低分子イオンと活量係数のさらなる研究<sup>19)</sup>,
- Part 5 選択透過性の簡略表現<sup>20)</sup>,
- Part 6 ポリスチレンスルホンサン水溶液中の低分子イオンの移動度と活量係数<sup>21)</sup>

この研究の後半は北大薬学部で行われた。Part 6の実験は、筆者が薬学部のアイソトープセンターで行った。センターに泊まり込んでの測定だった。この論文は、センターの事務の方から差し入れてもらった朝食のおにぎりの味がする。

10年ほどを経て、生の実験データを送れとのリクエストが海外から届いた。「信頼できるデータだから」と小島先生の一言。実験ノートはハードカバーの補助帳(研究室の伝統として A4 コクヨ帳簿を使用)であった。すぐに該当する実験を見つけ、データを送った。歌の ahead by a century には程遠いが、ahead by a decade であると誇らしく思った。

#### B. Millipore-DOPH 膜: 転移を伴う膜現象

1968年頃、小島先生は別途新しい実験系として、Millipore-DOPH 膜を構築している。ミリポアフィルターに合成脂質 dioleoyl phosphate を含有させて膜を調整したもので、溶液の塩濃度を変えると、インピーダンスが大きく変わる系である<sup>22)</sup>。

使用した人工リン脂質 dioleoyl phosphate は、東京工大の吉田瑞子さんが合成したものだ。また文部省科学研究費、特定研究(生物物理)のサポートを受けて、インピーダンス測定装置を購入したと推測する。この精密装置は北大薬学部へ搬送されることになる。共著者の入交昭彦先生は京大医学部助手なので、医学部の生理学、京大の化学研究所との交流があった

ことが知れる。吉田瑞子さんは DOPH 膜の研究に加わり、当初は東京から大阪へ、小島先生が北大薬学部へ移られた後は東京一札幌間を飛行機でたびたび通われることになる。

#### 8. いざ北大薬学部へ、研究室の立上げ

阪大小島チームの全員、といっても加茂さん、石田君(4年生)と上田(M1)の3人だが、夜汽車にゆられて札幌入りした。まだ雪深い3月初旬であった。当初(1971年)は永井先生と藤井さんがすでにおられ、いろいろ面倒をみてもらった。小島先生を加えた4人は、当時桑園にあった宮部会館に泊り込んで薬学部に通い、研究室の立上げ作業に勤しんだ。宿舎の石炭を焚くダルマストーブが珍しかった。医学部の崩れかけた建物がまだ残されており、生体標本を覗き見た。

最初は、従来の研究の継続と、新しい「生体膜の興奮性」研究(井上)の立上げであった。

- ① 「有効荷電密度と膜現象」: 阪大からの継続テーマは Part 6 をもって完了した。
- ② 「Studies of electric capacitance of membranes」: Part 2 で完了した。脂質をミリポアフィルターに浸潤させる方法は味覚のモデル膜調製法として活用される。生体膜の興奮性の研究は、ニテラの原形質ドロップとイカの神経軸索が実験系である。
- ③ 「ニテラ原形質ドロップ表面の興奮性膜の研究」: 興奮性の発現、興奮成膜の形成、屈折率、外液組成変化による2つの状態と遷移現象など、一連の論文(Part 1-5)として短期間に発表された。実験結果は後に相沢さんにより、非平衡開放系における時間発展の視点から、理論的考察が与えられた: 「神経膜での波の伝播の理論」、「ニテラドロップの興奮性膜の自己組織化」、「興奮性膜の統計理論」、「振動不安定性」(1975年~1976年)。

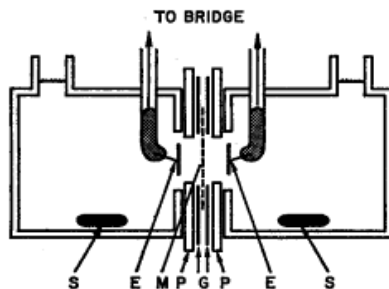


FIGURE 1 Schematic diagram of the cell used. E: Pt-Pt electrode ( $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ); P: spacer of plastic plate having a bore of 1.5 cm in diameter; G: silicon rubber gasket; M: membrane; S: magnetic stirrer tip.

研究室立上げの総括：衛生学講座の小山次郎教授の声が、小島教授室から漏れ聞こえて来る。「君の講座は、立上げ時期に発表論文の落ち込みがほとんどないね。私は5年間発表論文が見事にゼロだったよ」「気心を知った者を連れて来たからね」

## 9. 薬品物理学講座での研究展開

- ④ 栗原堅三先生の赴任に伴い、新しいテーマ「味覚受容の物理化学的研究」が立ち上がった。化学受容における脂質の役割に注目したものである。脂質含有ミリポアフィルター膜とリポソームを用い、受容器電位発生における表面電位の寄与を明らかにした。さらにカエルの味覚神経系での実験により、生体で機能していることを示した。  
成果は1974年～1976年にかけて報告された。

味覚受容の物理化学的研究：

- I. 味覚応答に類似した応答を、モデル膜(ミリポア)で再現。塩、酸、水に対する刺激応答。
- II. ミリポアモデル膜とリポソーム膜の応答を比較。電気泳動法によるゼータ電位(表面電位)の測定。塩刺激による受容器電位の発生機構の提唱(1974年)。
- III. 水応答(蒸留水に対する応答)。
- IV. 全脂質をリン脂質成分に分画。それぞれのリン脂質を用いて化学刺激応答を測定し、どのリン脂質が味覚に寄与するかを解明(1975年)。
- V. カエルの糖応答が塩で抑制される。
- VI. 味覚には、塩の陰イオンが交差効果である(1976年)

味覚は化学刺激に対する応答である。刺激—応答の考えは、生物が環境情報を受容し伝達する仕組みの解明へと展開する。この時、2つの方向が芽生えた。1つは、動物(ウシガエル、ウナギ)を用いた受容器—感覚神経の応答という感覚生理学の方向へ向かうものである。三宅君、柏倉君、吉井君、柏柳君らが初期のメンバーである。栗原先生は1979年教授に昇任されたので、この研究は薬剤学講座で行われることになる。小島先生は、「アメーバが細胞分裂をしたようだ」と喜んでおられた。

もう1つは単細胞生物の外部刺激に対する応答、細胞行動の研究へ向かう。テトラヒメナ、アメーバ、細胞性粘菌、真正粘菌などを用いた生

学的、生物物理学的、細胞生理学的研究が展開される。論文著者に、寺山、郵次、羽藤、安宅、石田、田辺、広瀬、佐藤、三戸、秋田谷、逢坂、蓮本、松本、細川、森、中垣君らが連なる。後に大学や研究所で活躍している人が多いが、政界に進出した人もいる。

- ⑤ 選択性電極の開発とその応用の展開：  
1976年にサルファ剤選択性電極。  
1976年に膜電位指示薬である親油性陽イオン dibenzyl dimethyl ammonium (DDA<sup>+</sup>)に対する選択性電極(当初は液体電極であった)。  
1978年にPVC(polyvinyl chloride)ポリマーにDDAを埋め込んだ固体の選択性電極を開発。  
1979年にtetraphenyl phosphonium (TPP<sup>+</sup>)選択性電極を開発し、ミトコンドリアの膜電位測定。H<sup>+</sup>電気化学ポテンシャルとリン酸化の関係を明らかにした。  
この電極は細胞の浮遊液、ベシクル系に適用できて、取り扱いが容易な膜電位測定法である。蛍光法と相まって、生体膜の輸送現象と機能発現の解明に寄与した。  
1989年にプラズマ重合法により、薄い親油性陽イオンに対する選択性銅フタロシアニン膜が調製された。圧電体結晶に膜をつくり、ガスの吸着量をFET(電界効果トランジスタ Field effect transistor)の発振周波数の変化から計測。小島先生はプラズマ重合装置を前にして、院生に言う。「黒澤君、これを活用して研究を進めてくれよ。まかせたよ」
- ⑥ 光駆動イオンポンプの分子機構の解明～閃光分解法(1982年～)：高度好塩菌 *Halobacterium halobium* の膜輸送を研究対象として、光駆動イオンポンプの解明へ向かう。
- ⑦ 高度好塩菌 *Halobacterium halobium* の走光性の分子機構の解明：微生物の光に対する行動応答は、細胞の情報処理機構を分子レベルで解明するよいモデル系である。コンピュータ自動計測法の開発(高橋)は、その後の研究に重要な役割を果たす。鞭毛回転による運動の方向転換頻度をPC画像解析で数えるもので、大量かつ迅速に走光性を定量化できた。行動変異株の分離も可能となった。閃光分解法により sensory rhodopsin の光サイクルを決定し、走光性の分子機構を明らかにしていった。高橋、富岡、加茂が中心となって推進した。
- ⑧ 真正粘菌の行動発現～収縮リズムの時空ダイ

ナミクスと情報判断:粘菌は巨大なアメーバ様細胞である。この特徴を活かして、粘菌の行動発現の研究が進展した。(1975年～)

## 10. 小島先生の研究指導の具体例: 筆者の場合

- \* 大阪大学での修士課程発表会に備えて、研究室でリハーサルを行った。「それでよい」の一言であった。これが、小島先生を前にして発表のリハーサルをした最初で最後であった。ずっと後でこのことを聞くと、「無駄なことはしないよ」との返事であった。思えば、これが一番きつい指導であったが、一番ためになった。
- \* 薬学博士の学位を取得すると、『君はこれから何をやるのか。人の後追い研究なら、ここでやるのは許さない。』このように迫られて、次のように答えたと思う。『細胞は、外界の状況を感じ覚情報として受容し、細胞内に伝達し統合して判断し、運動系に伝えている。狙いは、このような情報ネットワークを解明することであり、運動機構そのものではない…この点他の研究と異なる。とりわけ判断機能を取り上げたい。おそらく細胞内の自己組織化と関連している。』小島先生は納得された模様。研究テーマは「細胞インテリジェンス」と定まった。知覚機能を持つセンサーの概念は、後にインテリジェント材料として大きく発展することになる。
- \* フンボルト財団(ドイツ)への応募: アメリカでの国際菌類学会から戻ってこられた。「ドイツのポッターマン教授(ボン大学)と会った。君の事を話したら、引き受けるからフンボルト財団に応募することを進められた。どうする?」学振 2 年目の筆者には、選択の余地はなかった。ドイツ語ができないことに対して、小島先生の推薦書には次のように書かれていた。「Ueda は物事に柔軟に対応することが出来る。ドイツ語の学習も同様であろう」…こんなんでいいのかしら? と思った。
- \* 光生物学との出会い: 出張から戻ってこられた。岡崎の基礎生物学研究所の大型スペクトログラフの設計者である古谷雅樹教授に会ったという。「岡崎の基生研に大型スペクトログラフがある。共同利用をやってみないか」。筆者が研究室に閉じこもっていることを心配されての提案であった。
- \* 「ロマンの物理」: 小島先生に京大理学部物理の富田和久教授から電話が入った。「D3の松本

健司君が、コンピュータの世界ではなく、現実の世界を見たいと言ってきた。夏休みに一週間ほど頼む。」。小島先生は筆者に「君が面倒見てくれないか。せっかくだから研究になることを」という。理論畑の D3 の興味を満ちし、かつ新しいデータが得られる実験系をひねり出さねばならない。1 週間かけて粘菌の厚み振動を透過光強度変化として2D(画像)計測する計画にたどり着いた。…その後、松本君は粘菌を結合振動子系の振る舞いとして解析し、細胞行動の発現機構を情報理論的に解析していくことになる。富田先生は「ロマンの物理」の大切さを主張しておられた<sup>23)</sup>。曰く、「意味の不明なものの意味を問いながら、様々のものが混ざって混沌としていられるけれども、その中から新しい現象を見つけ、その新しい現象の直観的解釈から出発する。」我々実験家の心構えと同じで、意を強くした。

## 11. 突然の病魔と惜別

何時の頃からか、忙しく週に 3~4 回も出張されていた。今思うと、そのおかげで研究室員はそれぞれの研究に没頭することができたのだった。

そんな時に、薬学部に入電が入った。小島先生がインドのバンガロールでの学会の会場で倒れられ、ICU で治療中とのこと。幸いにも会場に居合わせた医者による適切な対応のおかげで、この時は早期に帰国できるまでに回復された。

しばらくして北大病院に入院された。数日して見舞いにいくと、脈拍が常に全力疾走しているような状態であるという。「みんな薄情で、誰も来てくれない」。「退屈しようがない。教授室のファイルボックスに有効荷電膜理論の原稿があるから、持って来てくれ」。安静とは裏腹な要求だ。しかし手掛けた研究への執着や、やりたいことを押しとどめることはできなかった。しばらくして、若い主治医を説き伏せて退院された。1988 年 10 月 31 日、東京出張中に倒れられ、亡くなられた。

## おわりに

小島先生の歩まれた道筋をたどってきたが、研究者たるものの行動として見えて来たことがある。興味があるのは、わからないことがある対象である。これに取りつき、その時に出来る限界まで明らかにする。解明したことによって、さらに新たなわからないことが見えて来る。これには周辺の進歩をとりいれながら、わからない事に取り組んで限界まで明らかにする。

このようなサイクルを次々に続けられた。どこか「わらしべ長者」の物語に似たところを感じられる。

小島先生が研究対象とされたのは膜現象であるが、日常的な興味はいろいろなものに向けられていたこと、さらに若い人にそのような場を提供する労を惜しまれなかったことは、言うまでもない。

筆者は最終講義の折に自作の歌を披露した。どこか小島先生の姿と重なる。

#### キャンパス賛歌

明日を見て 凛々しく歩む 大学よ  
貴方と共に 浪漫追う日々

歌には感謝の言葉(ありがとう)が織り込まれている。

(あすをみて りりしくあゆむ だいがくよ  
あなたとともに ろまんおうびび)

加筆：本稿の執筆中、10月26日に栗原堅三先生が亡くなられたとの訃報に接しました。ちょうど栗原先生の初期の研究活動を整理していたところでした。先生には、原生生物の行動という分野へ導いていただきました。もう半世紀も前になりますが、小島・栗原両先生の研究室での写真を載せます。ご冥福をお祈り致します。



写真：薬学部に赴任されたころ(1971年)。

左：小島先生、右：栗原先生。

#### 参考文献

1) M. Nagasawa, Y. Kobatake. The theory of membrane potential. *J. Phys. Chem.* 56, 1017-24 (1952).

- 2) 小島陽之助. 高分子膜のイオン透過性. 日本物理学会誌 11, 506-7 (1956).
- 3) Y. Kobatake. Irreversible Electrochemical Processes of Membranes. *J. Chem. Phys.* 28, 146-53 (1958).
- 4) Y. Kobatake. Irreversible Electrochemical Processes in Membranes. II. Effects of Solvent Flow. *J. Chem. Phys.* 28, 442-8 (1958).
- 5) Y. Kobatake, J. Hildebrand. Solubility and entropy of solution of He, N<sub>2</sub>, A, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub> and SF<sub>6</sub> in various solvents; Regularity of gas solubilities. *J. Phys. Chem.* 65, 331-5 (1961)
- 6) a) Y. Kobatake, H. Fujita. Osmotic flow in charged membranes. *Kolloid-Zeitschrift und Zeitschrift für Polymere* 196, 58-64 (1964). b) Y. Kobatake, H. Fujita. Flows Through Charged Membranes. I. Flip-Flop Current vs Voltage Relation. *J. Chem. Phys.* 40, 2212-8 (1964). c) Y. Kobatake, H. Fujita. Flows Through Charged Membranes. II. Oscillation Phenomena. *J. Chem. Phys.* 40, 2219-22 (1964).
- 7) P. Glansdorff, I. Prigogine. On a general evolution criterion in macroscopic physics. *Physica* 30, 351-74 (1964).
- 8) Y. Kobatake. Transition between two steady states in a porous charged membrane. *Physica* 48, 301-12 (1970).
- 9) Y. Kobatake, N. Takeguchi, Y. Toyoshima, H. Fujita. Studies of Membrane Phenomena. I. Membrane Potential. *J. Phys. Chem.* 69, 3981-8 (1965).
- 10) Y. Kobatake, Y. Toyoshima, N. Takeguchi. Studies of Membrane Phenomena. II. Theoretical Study of Membrane Potentials. *J. Phys. Chem.* 70, 1187-93 (1966).
- 11) Y. Toyoshima, M. Yuasa, Y. Kobatake, H. Fujita. Studies of membrane phenomena. Part 3. Electric resistance of membranes. *Trans. Faraday Soc.* 63, 2803-13 (1967).
- 12) Y. Toyoshima, Y. Kobatake, H. Fujita. Studies of Membrane Phenomena Part 4. Membrane Potential and Permeability. *Trans. Faraday Soc.* 63, 2814-27 (1967).
- 13) Y. Toyoshima, Y. Kobatake, H. Fugita. Studies of Membrane Phenomena Part 5. Bulk Flow Through Membrane, *Trans. Faraday Soc.* 63, 2828-38 (1967).
- 14) Y. Kobatake, M. Yuasa, H. Fujita. Studies of Membrane Phenomena. VI. Further Study of



- Volume Flow. *J. Phys. Chem.* 72, 1752-7 (1968).
- 15) M. Yuasa, Y. Kobatake, H. Fujita. Studies of membrane phenomena. VII. Effective charge densities of membrane, *J. Phys. Chem.* 72, 2871-6 (1968).
  - 16) N. Kamo, Y. Toyoshima, H. Nozaki, Y. Kobatake Part I: Mobilities and activity coefficients of small ions in charged membranes. *Kolloid-Zeitschrift und Zeitschrift für Polymere* 248, 914-21 (1971).
  - 17) N. Kamo, Y. Toyoshima, Y. Kobatake. Fixed charge density effective to membrane phenomena Part II: Hydrodynamically effective charges of membranes. *Kolloid-Zeitschrift und Zeitschrift für Polymere* 249, 1061-8 (1971).
  - 18) N. Kamo, Y. Kobatake. Fixed charge density effective to membrane phenomena. Part III. Transference number of small ions. *Kolloid-Zeitschrift und Zeitschrift für Polymere* 249, 1069-76 (1971).
  - 19) T. Ueda, N. Kamo, N. Ishida, Y. Kobatake. Effective Fixed Charge Density Governing Membrane Phenomena. Part IV. Further study of activity coefficients and mobilities of small ions in charged membranes. *J. Phys. Chem.* 76, 2447-52 (1972).
  - 20) N. Kamo, M. Oikawa, Y. Kobatake. Effective Fixed Charge Density Governing Membrane Phenomena. Part V. A reduced expression of permselectivity. *J. Phys. Chem.* 77, 92-95. (1973).
  - 21) T. Ueda, Y. Kobatake. Effective Fixed Charge Density Governing Membrane Phenomena. Part VI. Activity coefficients and mobilities of small ions in aqueous solutions of poly(styrenesulfonic acid). *J. Phys. Chem.* 77, 2995-2998. (1973).
  - 22) Y. Kobatake, A. Irimajiri, N. Matsumoto. Studies of electric capacitance of membranes. I. A model membrane composed of a filter paper and a lipid analogue. *Biophys. J.* 10, 728-44 (1970).
  - 23) 富田和久. 物理とともに 30 年. 物性研究 47, 1-45 (1986).
- 小島先生の北大薬学部で行われた多くの研究業績は省略した。次のサイトでは年次ごとに小島先生の業績を検索できる：  
<https://typeset.io/authors/yonosuke-kobatake-2jagf7ith2>

同窓会 HP: 2023 年 11 月 21 日公開