

KOGAKUIN DAIGAKU KENKYURONSO

— Kogakuin University Bulletin —

No. 61 - 1

工学院大学研究論叢

第 61 - 1 号

Kogakuin University

Tokyo Japan

2024

目 次

第 61- 1 号

1. 「2023 年対馬問題」と放射性廃棄物最終処分場立地政策の転換点？
——「国境離島」を舞台に展開される「寿都」以後の
事態打開をめぐる攻防とその矛盾
..... 小 野 一 1

2. 生体物質を探索するための多機能サブマイクロペットの開発
..... 高見 知秀・西山 北斗・渡辺 悠・大見 春奈・太田 望月 19
小野 茉奈美・渡部 みなみ・宮下 一帆・三井 大虎
米田 里緒・澁谷 興・阿久津 祐介・金子 直暉
大友 千恵・井上 瑞紀・小澤 眞美子・真柄 英之
小川 修一・虻川 匡司

3. 聴力と発音の同時訓練
——大学第 2 外国語中国語授業における実践と調査分析
..... 閻 瑜 31

4. 文部省職業教育課と『産業教育』誌（15）
..... 丸 山 剛 史 47
尾 高 進

5. エントロピーについて
—— 21 世紀のエネルギー問題及び地球環境問題・それらの解決法について
..... 大 竹 浩 靖 59

Contents

No. 61- 1

1. “Tsushima 2023” Issue, A Turning Point
of Japanese Nuclear Waste Final Repository Policy?
Trial for Overcoming “Post-Suttsu” Deadrock and
Contradictory Bargaining-Processes in the Realities
of “Boundary Island”
..... ONO Hajime 1
2. Development of Multi-Functional Submicropipettes
for Exploring Biomaterials
..... TAKAMI Tomohide, NISHIYAMA Hokuto, WATANABE Yu 19
OMI Haruna, OHTA Mizuki, ONO Manami,
WATABE Minami, MIYASHITA Kazuho, MITSUI Taiga,
YONEDA Rio, SHIBUYA Kyo, AKUTSU Yusuke,
KANEKO Naoki, OHTOMO Chie, INOUE Mizuki,
OZAWA Mamiko, MAGARA Hideyuki, OGAWA Shuichi
and ABUKAWA Tadashi
3. Simultaneous Training in Listening and Pronunciation
Practical Implementation
Survey Analysis in University Chinese Language Courses
as a Second Foreign Language
..... YAN Yu 31
4. Vocational Education Section in Ministry of Education,
Science and Culture and the Journal “Industrial Education” (15)
..... MARUYAMA Tsuyoshi, ODAKA Susumu 47
5. Thermodynamic, Statistical Mechanic and Informatics Entropies
(Solutions of Energy and Ecology Problems under 21st Century)
..... OHTAKE Hiroyasu 59

「2023年対馬問題」と 放射性廃棄物最終処分場立地政策の転換点？

—「国境離島」を舞台に展開される「寿都」以後の
事態打開をめぐる攻防とその矛盾

小 野 一

“Tsushima 2023” Issue, A Turning Point of Japanese Nuclear Waste Final Repository Policy?

Trial for Overcoming “Post-Suttsu” Deadrock
and Contradictory Bargaining-Processes
in the Realities of “Boundary Island”

ONO Hajime

Abstract

Although nuclear waste problem was known, only recently it became a controversial political issue. Especially, high-level radioactive remain of spent nuclear fuel must be isolated in deep geological disposal facilities for thousands of years. Related to site-selection of final repository, Tsushima-city, a boundary island next to Korean peninsula, was a hot topic. In June 2023, some groups submitted petitions to the municipal assembly, requiring to apply for “literature investigation”, the first step of the national project to find candidate places for final repository. It led to fierce protest actions, and the mayor made the final decision not to apply. “Tsushima 2023” issue, the third case following Suttsu-town and Kamoenai-village which accepted “literature investigations” in summer 2020, might be a turning point of the nuclear waste management policy in Japan. The author who has written an article about Suttsu-problem in the 59-2 issue of the *Kogakuin University Bulletin* will argue about “Tsushima 2023” case in this article. After a survey in the first section, I will describe the political process based on official documents and journalistic articles. In spite of general findings about NIMBY-facilities in peripheral areas, I will clarify Tsushima’s peculiarities compared with precedent cases in the third section. To write this article, the author visited Tsushima. I thank all persons who cooperated on hearing and

information gathering.

Keywords: Nuclear Waste, Final Repository, Local Politics, NIMBY, Boundary Island

1. 対馬問題へのアプローチ

1. 1. 文献調査に揺れる「国境の島」

2023年夏、「核のゴミ」をめぐる対馬が揺れた。対馬は九州と朝鮮半島の上に位置する「国境の島」である。2004年3月1日に6町（厳原町、美津島町、豊玉町、峰町、上県町、上対馬町）が合併し、対馬市が誕生した。2023年7月31日現在の人口は28,071人である。2005年（市制施行の翌年）8月末の39,949人と比べても、人口減少が著しい。2021年度の対馬市の財政力指数¹は0.19で、長崎県内21市町のうち20位である²。

放射性廃棄物の海洋や宇宙空間への投棄が否定された今、消去法的に残ったのが地層処分、すなわち安定した岩盤層の地下深くの最終処分場で保管する方法である³。「文献調査」とは、最終処分場候補地選定プロセスの第一段階で、応募すれば関係自治体に最大20億円が電源立地地域対策交付金から支払われる。日本では2000年の「特定放射性廃棄物の処分に関する法律」に基づき設立された原子力発電環境整備機構（NUMO）が候補地を公募するが、正式に応募した自治体はなかったため⁴、政府は自ら候補地をリストアップし補償措置を検討する方針に転じた。2017年7月の科学的特性マップ⁵はこの延長上にあり、多額の交付金もここから説明がつく。

『工学院大学研究論叢』59-2号掲載の拙稿（前稿という）では、原子力開発の「負の遺産」としての放射性廃棄物問題を立場の弱い地域の負担で「解決」しようとする権力関係の非対称性を前提とした巧みな仕掛けと、それを容認する多数派世論に寿都問題の本質があると記したが⁶、「2023年対馬問題」にも似た構図はある。とはいえ、財政基盤の弱い過疎の自治体なら、必ず原子力施設の受け入れに向かうとは限らない。見過ごされるべきでない固有の事情は、行論の中で明らかになるだろう。

1. 2. 前史

対馬は、早い時期から断続的に、核の問題に関連して名前が浮上した地域である。

1969年に進水した原子力船「むつ」は、1974年に洋上で放射線漏れ事故を起こし、むつ市民らが帰港を拒否したため「漂流」を余儀なくされる。同船は、長崎県佐世保市での修理が決まった。経営難の佐世保重工業救済のため辻一三市長（当時）が申し出たのだが、被爆県、水産県の長崎には受け入れがたい。1978年10月16日、警備船、阻止船が入り乱れる中で

「むつ」の佐世保入港となった⁷。その際、対馬も修理場所の候補地だった。

1987年には資源エネルギー庁の『広域地質構造調査報告書』が刊行されたが、それに先立ち対馬では動力炉核燃料開発事業団がボーリング調査を行ったとされる⁸。

2006年12月1日、対馬市商工会上対馬支所にて、島内初となるNUMOの公開説明会が開催される。翌2007年2月には、反対派市民有志による「核のごみと対馬を考える会」が結成された。こうした中、2007年3月19日の対馬市議会は、「高レベル放射性廃棄物の最終処分場誘致に反対する決議」を15対8の賛成多数で可決した。松村良幸市長（当時）は、「被爆県でもあり風評被害も考えられ、現段階では応募する考えはない」と明言した。反対決議の内容は、以下のとおり。

高レベル放射性廃棄物の最終処分場を対馬市内に誘致しようとする運動が陰に陽に進められており、ここにきて賛否両論が公然と論ぜられるようになり、やがて市民感情を二分する深刻な状況になることが懸念される。

この廃棄物は、原子力発電所で使用済になった燃料を再処理場でプルトニウムとウランを取り出した後に残る「死の灰」で、これをガラスと一緒に固め、ステンレス容器に詰めたものである。この容器一個で、長崎原爆約20発分以上の「死の灰」が詰まっており、これを4万個も地下300メートル以深に埋めるといふ。いくら地下とは言っても、その死の灰の毒性がなくなるまでには、数万年とも数十万年以上とも言われ、その間何が起るか科学者も証明できないのである。従って、原発が日本で稼働して40年になるのに、この最終処分場が今日に至るも決まらない。「トイレのないマンション」と言われる由縁である（原文ママ）。

この問題を考える場合、交付金と職場の確保が言われるが、逆にその風評被害でどれだけの農畜水産物に損害を及ぼすか計り知れない。観光と第一次産業を融合させた町づくりなど絵に描いた餅になってしまうし、被爆県長崎にあって孤立の道を歩むことになるだろう。更に言えば、対馬を離れ、対馬を想い、本土で頑張っておられる人達に、核のゴミの島を故郷にさせてはならない。そのことが対馬に生きる我々の使命である。

以上のとおり、その危険性と風評被害と孤立の道を選択するのではなく、風光明媚な先祖代々受け継いできた対馬と、その人情豊かな島民性を守り抜くことこそ、子子孫孫に対する我々の使命である。従って、高レベル放射性廃棄物の最終処分場誘致には絶対反対である。以上決議する。

2011年の東日本大震災と福島第一原発事故により、誘致推進派の活動は沈静化した。その後、NUMOと島内各種団体との接触が再び活発になる。ひとつの転機は、NUMOが全国各地で実施する対話型説明会⁹が2021年11月23日に対馬市で開催されたことだろう。2023年の商工会等による請願書提出へと布石が打たれていく。

2. 「2023 年対馬問題」をめぐる政治過程

2. 1. 商工会が主導した文献調査を求める請願

文献調査応募をめぐる動きが表面化するのには 2023 年 5 月頃だが、一部の市議会議員と NUMO との接触は 2020 年からあったという。21 年春には NUMO が対馬商工会を訪ね、商工会理事が参加する説明会が設けられた。22 年から「複数回にわたり、商工業や建設業など各業界の幹部や市議が「核のごみ」が一時貯蔵される青森県六ヶ所村などを視察」した¹⁰。これは「商工会婦人部の複数の方々が旅行に招待され、青森から北海道を旅行された」との『対馬新聞』の記事とも符合する。同紙編集長は、文献調査を受け入れた場合の交付金 20 億円の重みを、次のようなたとえで説明する。「対馬の年間予算は 436 億 9,000 万円。年収 436 万円の方が、「20 万円もらえるなら、核ゴミを自宅に保管できるかどうか自宅の測量図を調査してください……」と申し出ると同じレベルである。「確かに 20 万円は大きい。だが失うものは計り知れない」。その上で、「対馬が生き延びる道は、核ゴミ受け入れに手を挙げるしかないという考えは後向きで、あまりにも悲しすぎる」とまとめる¹¹。

対馬新聞社は、2023 年 4 月 18、19 日に開催された対馬市商工会の会員向け「高レベル放射性廃棄物の地層処分事業に関する文献調査についての説明会」で、この説明会が文献調査応募を前提としたものかと質した。商工会は、応募を前提とした説明会だとした上で、「4 月 24 日の理事会において、文献調査への応募について審議、賛成多数の場合、市議会に上程する」と答えた¹²。2022 年に新たに見つかった対馬近海の活断層（科学的特性マップには反映されていない）に関して二人が質問したが、うやむやなまま終わった¹³。

反対派の運動も活性化した。核のごみと対馬を考える会は、5 月 13 日に署名活動を開始した。表向きは民間団体を通じて「下から」発現したという意味で、町長による最終処分場誘致（につながり得る文献調査応募）が大規模な反対運動を誘発した高知県東洋町（注 4 参照）や北海道寿都町の場合とはタイプが異なる。とはいえ、やはり地元商工会が主導し、目立った反対運動もなく文献調査応募へと向かった神恵内村ともまた違う。

長崎県建設業協会対馬支部と対馬建設業協同組合は、5 月 12 日、「NUMO 文献調査受け入れの請願について」を賛成多数で可決した。対馬新聞編集長は、「商工会の動向にだけ気をとられていた……。己の視野の狭さ、情報網の希薄さが情けない」と悔しさを滲ませる¹⁴。

『対馬新聞』¹⁵は、2023 年 4 月 21 日発行の第 4291 号を皮切りにこの問題を取り上げてきた。文献調査反対を明確に打ち出しながらも、賛成派住民の意見も掲載する。匿名の投書もあるが、距離の「近さ」が印象的である。元読売新聞取締役調査研究部長の斎藤彰（5 月 12 日、6 月 16 日）や純真学園大学・短大客員教授の平嶋一臣（6 月 9 日）のような（対馬出身の）識者の寄稿も掲載し、住民が知見を深めるのに寄与している。

4 月 28 日付けで掲載された市議会議員・小宮教義（商工会理事を兼務）の「高レベル放射性廃棄物の文献調査推進について」は、賛成派の主張を凝縮し、興味深い。一部省略の上で

引用しておく。

貴社新聞社編集長の文献調査反対の記事を拝読させて頂きました。私は文献調査推進の立場であり、その必要性について順次論じさせていただきます。①国の怠慢による責任。……②核のゴミとは何か、爆発するのか。……③放射能の怖さについて。……④文献調査が直ちに最終処分場建設とはならない。……⑤文献調査を実施した北海道の寿都町と神恵内村から学ぶもの。……⑥長崎県は被爆県であること。……。

【文献調査推進について】貴社編集長記事に、対馬市年間予算約436億円の中で収入（歳入）に当たる市税は約29億円だけです。【ツシマヤマネコの棲む島】との表現がありました。ヤマネコは人が人間が守って行かなければ絶滅します。島に人が残らなければなりません、人間社会も同様です、島を守り、先祖を守る墓守がいなくなったら島の存在は無くなってしまいます。

人を一人でも多く残す事が大事です。その為には、今何をすべきなのか、可能性への挑戦が必要です、北海道の寿都町と神恵内村の如く挑戦しなければなりません。

長崎県は被爆県であり北海道知事と同じ方向性になっても交付金による基金の活用はできます、人口減少の加速度を少しでも抑える事は出来ます、それだけでも良いではないですか、今を生きる人の力にはなります。

反対意見では、文献調査がすぐに最終処分場建設につながるかの如く発言が多くなされるが、記述の通りです。可能性があるとすれば文献調査だけです、時間は待ってられません、新たな挑戦で地域に活力を与えましょう¹⁶。

2. 2. 請願書提出および請願審査特別委員会

2023年6月5日、文献調査反対派と賛成派が対馬市議会に、それぞれ請願書を提出した。反対派のうち2団体¹⁷は、これまで集めた署名簿（文献調査に反対する市民の会が2,548筆、核のごみと対馬を考える会が島外署名者も含め1万7,635筆）を携えていた¹⁸。反対派6件と賛成派3件（うち1団体（表1の⑧）は取り下げ¹⁹）の請願書と紹介議員は、表1のとおりである。反対派5団体は、請願書提出後に初村久藏市議会議長と懇談し、初村議長は「特別委員会か何らかの委員会を設置して、慎重に議論する必要がある」とコメントした。

核のごみと対馬を考える会の請願書（表1の⑤）は、以下のような内容である。

（請願の趣旨）高レベル放射性廃棄物最終処分場（以下、最終処分場）を対馬市内へ誘致しよう、あるいは処分場建設に向けた文献調査について市議会で議論を求める動きが起こっています。〈核のごみと対馬を考える会〉は、対馬市内への最終処分場誘致に断固反対することを目的として設立された対馬市民の有志グループです。弊会は、地層処分の安全性自体に疑問を持つと同時に文献調査の受け入れすらも反対の立場であり、その

表 1 請願文書一覧（令和 5 年第 2 回対馬市議会定例会の資料より作成）

受理番号・受理年月日	請願者（代表者氏名）	件名	紹介議員
① 令和 5 年 6 月 5 日	文献調査に反対する市民の会 （多田小夜子、栗山みどり）	高レベル放射性廃棄物最終処分場に係る 文献調査受け入れ反対に関する請願書	小島徳重
② 令和 5 年 6 月 5 日	対馬地区漁協青壮年部連絡協議会 （橋勇二）	高レベル放射性廃棄物最終処分場文献調 査誘致反対に関する請願	大浦孝司、 小島徳重、 脇本啓喜
③ 令和 5 年 6 月 5 日	上対馬町漁業協同組合 （八島康平）	高レベル放射性廃棄物最終処分場文献調 査誘致反対に関する請願	大浦孝司、 小島徳重、 脇本啓喜
④ 令和 5 年 6 月 5 日	対馬市水産加工連絡協議会 （上原正行）	高レベル放射性廃棄物の最終処分に係る 文献調査の実施反対に関する請願書	大浦孝司、 小島徳重、 脇本啓喜
⑤ 令和 5 年 6 月 5 日	核のごみと対馬を考える会 （上原正行）	高レベル放射性廃棄物の最終処分場建設 に向けた文献調査に対馬市が応募をしな いよう求める請願	大浦孝司、 小島徳重、 脇本啓喜
⑥ 令和 5 年 6 月 5 日	一般社団法人長崎県建設業協会対馬支 部（原田繁盛）、対馬建設業協同組合 （阿比留人美）、対馬地区生コンクリ ート協同組合（小宮量浩）、対馬管工事 協同組合（阿比留人美）	特定放射性廃棄物の最終処分にかかる文 献調査受け入れの促進について	春田新一、 上野洋次郎、 入江有紀、 島居真吾、 糸瀬雅之
⑦ 令和 5 年 6 月 5 日	対馬市商工会 （山本博己）	特定放射性廃棄物の最終処分に係る議論 検討を求める請願について	波田政和、 陶山莊太郎、 小宮教義、 神宮保夫
⑧ 令和 5 年 6 月 5 日 （後日取り下げ）	対馬真珠養殖漁業協同組合 （日高肇）	特定放射性廃棄物の最終処分にかかる文 献調査受け入れの促進について	作元義文、 小田昭人
⑨ 令和 5 年 6 月 13 日	美津島町西海漁業協同組合 （阿比留和秀）	高レベル放射性廃棄物最終処分場文献調 査誘致反対に関する請願	大浦孝司、 小島徳重、 脇本啓喜、 井原徹

文献調査反対 賛成（ただし反対意見の存在を付記、またはその後取り下げ） 文献調査賛成

理由は以下に示す通りです。

（請願の主な理由）(1) 対馬市にもたらす風評被害で、一次産業や観光業をはじめ島の経済にどれほど多くの損害を及ぼすかは計り知れない。(2) 2007 年 3 月定例市議会に於いて可決された「高レベル放射性廃棄物最終処分場誘致に反対する決議」は現在も有効であり、これを重く受け止めるべきである。(3) 国や電力会社や、原子力資料情報室の資料からも、放射能漏れは起こることは想定されるとしてあり、それに伴う実害は払拭できない。(4) 地震調査研究推進本部によると、対馬市にも活断層が存在している。(5) 風光明媚な先祖代々受け継いで来た対馬と、人情豊かな島民性を受け継いでいく事こそ、子々孫々に対する我々の使命である。

以上、弊会は最終処分場誘致に断固反対である。最終処分場建設に向けた文献調査に対馬市が応募しないよう、強く訴える。

（請願事項）1. 対馬に高レベル放射性廃棄物の最終処分場を誘致する動きを止めてください。2. 高レベル放射性廃棄物最終処分場の適地として調べる文献調査を進める動き

を止めてください。

以上、地方自治法 124 条の規定により請願致します。

ここには反対派の主な論拠が示されている。彼らは、2007年3月19日の市議会決議がなお有効であることを強調する。市民の合意形成が不十分で一部の利害関係者のみで誘致が検討されることを懸念する声もある(表1の②および③)。文献調査受け入れによる対馬のイメージダウンが第一次産業や観光産業に打撃を与えること(表1の①)、文献調査に伴う交付金(メリット)は市の年間予算規模に比してさほど大きくないのにそれを上回るデメリット(風評被害など)があること(表1の④)も指摘される。「長崎県は被爆県であり、その長崎県民感情にも配慮するべき」との意見もある(表1の①)。

請願内容が微妙なのは、むしろ賛成派のほうである。建設業系団体が出した請願書(表1の⑥)は、次のように述べる。「国の安定的エネルギー政策の一環として、特定放射性廃棄物の最終処分にかかる文献調査を受け入れることにより、対馬市の指針である【第二次対馬市総合計画】、【対馬市長期人口ビジョン】等の目的である国境離島対馬の人口減少、安定的雇用の確保、地域経済の活性化を図り、対馬市の将来ビジョンの一翼を担う」。その上で、「建設業界としては、文献調査は最終処分施設建設とは区分して考えているものの、最終処分事業については、世界最先端の土木建設プロジェクトとして捉え、建設業界の技術力向上に資する可能性などを検討し勉強を行ってきた。その結果、最終処分事業は我が国の土木建設技術で対応可能な事業であり、建設業界としても協力すべきとの結論を得た」。これに対し対馬市商工会の請願書(表1の⑦)は、市議会に「議論検討を求める」のが趣旨であり、建設(を前提とした文献調査)を強く求めるものではない。「対馬市民が主体的に学習することが肝要」な段階なのである。そして、「請願書を出すにあたり文献調査の受け入れについては、商工会員内においても満場一致ではない」ことを付記し、会員対象のアンケート調査結果も開示した(注12参照)。

6月10日には反対派が「STOP!核ゴミ決起集会」を開き、主催者(核のごみと対馬を考える会)発表で530人が参加した。6月20日の市議会では、請願書8件が一括上程されたのに続き、議長を除く18人による請願審査特別委員会(船越洋一委員長、上野洋次郎副委員長)が設置された。22日の請願審査特別委員会では、審査の進め方について議論され、請願書を出した各団体の関係者を参考人として招致して意見を聞くことが決められた。参考人招致は7月10日と21日に行われる。また、NUMO、経済産業省、専門家等の参考人を、推進、反対各2名ずつ、計4名を招致することも決めた。

7月10日の参考人招致では、請願書2件(表1の⑥および①)が審議された。議事を傍聴した対馬新聞社のコラム記事 fanciful FRIDAY の全文を引用しておく。

先日の請願審査特別委員会に驚いた。まず、参考人招致の早々に動議が上がり、20数

分間の議論、最初の建設業関連 4 団体の持ち時間を半減させた。また、同委員会の議員は、署名簿の精査を行ったとして、「どこどこに通っている子どもが何人、誰々の奥さんとその方の子どもの年齢」等々、個人が特定できそうな個人情報や公共の電波 CATV に、まるで親の敵をとったかのような勢いで公開した。また、風評被害の一例で、反対議員の「韓国では、福島原発の汚染水に関して、排出前から塩の買い占めが起き、キムチを造るための塩がなくなっている」という発言に、推進議員から「韓国と一緒にするなよ」と野次が飛んだ。これは、人種差別発言にもあたらないだろうか？。挙げ句の果ては、「舐めてるんですか」と暴言を吐く議員まで出る始末。推進派議員が質疑する口調は恫喝的に聞こえ、委員長もついには、「参考人に対し、攻撃的な質問は無しにしてください。質疑だけをお願いします」と渋面。全体的に、参考人が TV（市民）の前でつるし上げられている感があった。次回 21 日に行われる反対派の代表者も、議会が姿勢を改めない限りよほど肝を据えてかからねば……。反面、推進派議員の人となりが見て取れた。なぜ、核ゴミ誘致？。事の真相が画面を通して伝わったのではないかと²⁰。

7 月 15 日には、九州のエネルギーを考える会の主催する「対馬市民との対話集会（意見交換会）」が対馬市交流センターで開催される。各分野の専門家が市民からの質問に対応し、反対派の脇本啓喜市議も参加した²¹。請願審査特別委員会の 2 回目の参考人招致は 7 月 21 日に行われ、残り 6 団体のうちの 4 つが参加した。8 月 2、3 日には専門家参考人招致が行われ、賛成派 2 名（経済産業省資源エネルギー庁の下堀友数、NUMO の田川和幸）と反対派 2 名（「はんげんぱつ新聞」の末田一秀、NPO 法人原子力資料情報室の高野聡）が意見を述べた。3 日の特別委員会では、文献調査実施中の北海道 2 自治体の首長に書面で照会した調査についての意見も報告された。予定では、8 月 16 日に最終の特別委員会が開かれ、8 件の請願について採決が行われる。

2. 3. 対馬市政と「請願」の位置づけ

ここで対馬市政について簡単に見ておこう。市議会の定数は 19 名で、直近の選挙は 2021 年 5 月 16 日に行われた。会派別の議員構成は表 2 のとおり²²。文献調査への態度は、表 1 の紹介議員欄が参考になる。反対請願の紹介議員になることが多いのは大浦孝司、小島徳重、脇本啓喜である。文献調査応募に熱心な議員は、糸瀬雅之、入江有紀、小宮教義とされる。賛成派 3 団体の紹介議員には自民党議員が何人かいるが（陶山荘太郎、神宮保夫、島居真吾、上野洋次郎、作元義文）、自民党でありながら反対運動に好意的な者もいる（坂本充弘、井原徹）。文献調査に関しては、全国政治の党派とは一応区別が必要である。

議会で賛否が拮抗するなら、市長の姿勢がカギを握る。2020 年 3 月 1 日の対馬市長選挙では、現職の比田勝尚喜（初当選は 2016 年）が当選している。市長は、2023 年 3 月 6 日の市議会一般質問で、「3 年前の市長選での「誘致に応募しない」という発言は今も変わらないか」

表 2 対馬市議会会派別議員（2023 年 9 月 1 日現在）

会派名	議員氏名	所属政党	初当選
新政会 (7 名)	陶山 莊太郎	自由民主党	2021 年 5 月 16 日
	神宮 保夫	自由民主党	2021 年 5 月 16 日
	島居 真吾	自由民主党	2021 年 5 月 16 日
	坂本 充弘	自由民主党	2017 年 5 月 21 日
	船越 洋一	自由民主党	2009 年 5 月 17 日
	作元 義文	自由民主党	2009 年 5 月 17 日
	春田 新一	無所属	2013 年 5 月 19 日
対政会 (4 名)	小島 徳重	無所属	2013 年 5 月 19 日
	小田 昭人	無所属	2009 年 5 月 17 日
	波田 政和	無所属	2009 年 5 月 17 日
	大浦 孝司	無所属	2009 年 5 月 17 日
創政 (4 名)	糸瀬 雅之	無所属	2021 年 5 月 16 日
	黒田 昭雄	公明党	2009 年 5 月 17 日
	小宮 教義	無所属	2009 年 5 月 17 日
	上野洋次郎	自由民主党	2013 年 5 月 19 日
すみれ会 (1 名)	入江 有紀	国民民主党	2013 年 5 月 19 日
市民協働 (1 名)	脇本 啓喜	無所属	2009 年 5 月 17 日
明政クラブ (1 名)	井原 徹	自由民主党	2017 年 5 月 21 日
議長	初村 久藏	自由民主党	2009 年 5 月 17 日

ゴシック体の氏名は会派代表者

と問われ、「現在、市としては誘致に向けた動きは何ら行っていない。その点をご勘案いただき、市長としての見解は控えさせてもらう」と語った²³。

一連の政治過程が民間団体の請願書提出から始まったことの意味を、改めて確認しておきたい。日本国憲法 16 条は、「何人も、損害の救済、公務員の罷免、法律、命令又は規則の制定、廃止又は改正その他の事項に関し、平穩に請願する権利を有し、何人も、かかる請願をしたためにいかなる差別待遇も受けない」と定める。これを具体化した請願法は、別に法律の定める場合を除いた請願に適用されるものであるため（同法 1 条）、国会の各議院や地方議会に対する請願には国会法や地方自治法が優先する。地方自治法 124 条は、「普通地方公共団体の議会に請願しようとする者は、議員の紹介により請願書を提出しなければならない」と定める。議会事務局に提出された請願は、議長が受理し、本会議で審査を所管の委員会に付託する（標準都道府県会議規則 90 条、標準市議会会議規則 141 条、標準町村議会会議規則 90 条）。付託を受けた委員会は、請願を審査し、審査結果（採択、不採択、一部採択、趣旨採択、継続審査など）を本会議に報告する。本会議では、委員会の報告を受け、その結果をもとに最終的な請願の取り扱いを議決する²⁴。

地方分権改革が進み、「開かれた議会」論が展開される中、請願を「意見や願望の単なる陳述」ではなく、住民による政策提案として位置づける試みが出てきた。請願者が趣旨の説明

をし議員が質問するなど、「開かれた議会」には住民という新たなチャンネルが加わった。林紀行は、こうした一連の改革を見るなら、地方議会における請願は、国務請求権的な性格から「自分の希望を伝える」参政権ないし参政権的権利という方向に力点が移りつつあると結論づける²⁵。請願権は、地方自治においては積極的な役割を付与される。前稿でも言及した5つの直接請求制度（条例の制定・改廃請求、監査請求、議会の解散請求、議員や長の解職請求、特定の職員の解職請求）とあわせ、代議制を補完すべく住民の関与が広範に認められているのが地方自治なのである。

2. 4. 運命の「8月16日」、そして「9月27日」

上述のとおり、最終の特別委員会は8月16日に開かれた。その結果、2件の請願（表1の⑥と⑦）が9票対7票の賛成多数で可決された（委員1名は欠席）。反対派の請願6件は否決された。これにより対馬市の文献調査への応募は、9月の定例市議会を経て、最終的には市長の判断に委ねられる。市長は、「特別委での議論・採決を踏まえてさらに熟慮する」とコメントするにとどまった。

結果自体は予想どおりとはいえ、文献調査反対の議員が、当初言われた4名ではなく7名だったことは注目に値する。ある市議は、「賛成することへの市民からの反発もあったのだろう」とみる。反対署名は相当数集まっているのに、市議会では推進派の意向を反映した票決結果となる。地域社会の分断は覆い隠せない。比田勝市長の任期は2024年3月までで、その前に市長選挙が行われる。推進派市議は、「市長が受け入れなければ、別の候補者を立てる」と牽制している。反対派も、市長が文献調査を受け入れた場合には対抗馬の擁立を検討するという²⁶。

この構図は、9月12日の定例市議会でも繰り返された。市議会は、推進派の請願を10対8の賛成多数で可決した。慎重姿勢を崩さなかった市長は、議会会期末の9月27日、市民の合意形成が不十分として文献調査に応じないことを表明した。放射性廃棄物政策の今後を占う上でも、地方自治やデモクラシー論の観点からも非常に興味深いことだが、その分析は別の機会に譲らざるを得ない。

他の自治体への波及効果も、付記しておくべきだろう。8月18日、山口県上関町議会は、中国電力が建設を計画する使用済み核燃料の中間貯蔵施設をめぐる調査の申し入れについて審議し、町長が正式に受け入れを表明した。直接の因果関係はないとはいえ、対馬市で特別委員会が文献調査受け入れ推進請願を採択して2日後のことである。国の原発推進政策に沿うような計画が、地方自治の名の下で住民不在のまま進んでいく。地域を分断しかねない緊張を一部地域に強いることこそ構造的暴力であることに、多数派世論は気づかないか、気づいていても沈黙を決め込んでいる。

放射性廃棄物最終処分場は究極の迷惑施設²⁷であり、その負担は立場の弱い人や地域にしわ寄せされやすい。そこには一定の法則性があるとはいえ、安易な一般化は禁物である。第

3節では、「2023年対馬問題」を日本の放射性廃棄物管理（NWM）政策全般の中に位置付け直し、「不利益の公正分配」問題超克の可能性を探りたい。

3. 日本のNWM全体の中に位置づけ直す視点

3. 1. 先行事例との比較

対馬では、文献調査応募に向けて主導性を発揮したのは地元商工会で、これに対抗するかたちで反対運動も活性化した。少なくとも表向きは「下からの」イニシアチブだったことが、政治学的には重要である。フォーマルな手続きが中心となり、反対運動の側も直接請求や住民投票のような戦略をとらなかった。

この違いは、自治体首長の政治姿勢によるところが大きい。高知県東洋町や北海道寿都町の町長は、最終処分場誘致（につながる文献調査応募）に率先して動いた。新潟県巻町（1994～96年）や高知県窪川町（1980年）の原発誘致計画でも、町長のイニシアチブが（リコールも含む）激しい反対運動の発端だった。これに対し、市長が慎重姿勢を貫いた対馬市では、推進派であれ反対派であれ、市長を「味方につける」ための市議会議員の多数派工作が有効な戦略として追求される。

前稿では、国や町長が民意を無視して原発を作るのを拒もうと多くの人々が選挙権と被選挙権、リコールなどの直接請求や裁判等あらゆる権利を行使し住民投票を実現させた新潟県巻町の事例が、住民投票の全国的な広がり大きな影響を及ぼした²⁸との議論を紹介した。首長の独断に対する住民の異議申し立てというのは、マスコミ的にはわかりやすい構図であり、反対運動の側でもターゲットの設定が容易になる。対馬では市長の慎重姿勢ゆえに、「下からの」動き（もちろん外部からの働きかけはある）に呼応した議会内多数派工作を軸とした攻防が目立つ格好になった。

問題発現のパターンとしては、突然降ってわいたようにことが起こる場合と、かなり前から目をつけられていた地域が兵糧攻めのようなかたちで受け入れを迫られる場合とが区別できる。実際には両方の要素が混在するのだが、あえて単純化すれば北海道寿都町や高知県東洋町が前者、北海道幌延町や青森県六ヶ所村、さらには沖縄米軍基地などが後者だろう（新潟県巻町や高知県窪川町は中間形態）。対馬では、比較的早くから、放射性廃棄物関連の問題は繰り返し話題に上っていた。その意味で幌延・六ヶ所型に近いと言えなくもない。ただし、自治体規模の大きい対馬は一定のレジリエンスを有しており、誘致計画をその都度阻んできた。「2023年対馬問題」の場合には、人口減少がいつそう進み、国や原発推進側の本気度（文献調査に名乗りを上げる自治体が思ったより少ないことへの焦り）がいや増している状況変化の中での対応に注目が集まった。

推進側の公式・非公式の地元工作には、各種宣伝・説明会、見学ツアーへの地域住民の招待、有力者の説得、（それとはわからないものも含めた）地域貢献事業などが含まれる。その

際、地域社会との接点なり足がかりが必要になる。地域の有力者、議員、商工会や農林漁業組合などといった地元経済団体などが考えられる。同じことは反対派側についてもいえる。地元の反対運動がどれだけ力を発揮できるかは、外部の反対運動の協力を得られるかにより変わってくる。

国家権力は地域の団結力が低く社会的資本のレベルが低下ないしは減少している地域に原子炉の立地を試みる傾向が顕著である、との先行研究がある²⁹。対馬は「地域の団結力が低い地域には該当しない。しかも、地域を離れた人も含め対馬出身者が強い紐帯を保ち続けるのは、島の時間を共有した人たちに特徴的ともいえる。そうした結束力を保ち、地域外の人にも理解してもらうためには、自主的で安定した財源もさることながら、わかりやすいシンボルがあると有利になる。対馬の場合は、水産物をはじめとする食文化や自然環境、天然記念物のツシマヤマネコなどがそれにあたる。

迷惑施設立地問題を分析する際に「中心／周辺」的視点は不可欠だが、財政基盤の弱い過疎の自治体と一括りにすると、地域の固有性を見落としてしまう。対馬の場合、特に重要なのは「国境の島」という事情である。

3. 2. 「中心／周辺」問題と「国境の島」

「受益圏と受苦圏」の分離とは、「中心／周辺」の非対称的な力関係を背景とした不利益負担の不均等性をモデル化した概念である。受益圏（大都市など）に電力消費の恩恵をもたらす原子力発電所（関連施設も含む）は、典型的な負の公共財（NIMBY 施設）として、立地地元（受苦圏）が害悪を引き受ける。中澤高師によれば、本来なら受益圏と受苦圏の対立であるはずが、受苦圏どうしの対立に転嫁されてしまっているところに、最終処分場問題の難しさがある³⁰。原発立地は受苦圏だが、そこから出る放射性廃棄物を押しつけられる地域は「受苦圏の中の受苦圏」だからである。放射性物質が特定地域（原子力オアシス）に集中する傾向を示唆する知見³¹をもう一歩進めれば、原子力オアシスは後背地の存在を前提に成り立つことがわかる³²。フランスのビュール村やアメリカのユッカマウンテン（ほとんど無人の砂漠地帯だが先住民の聖地）はこれに適合的な事例である。

国内の最終処分場候補地をこの文脈上に位置づけることも可能だが、その場合でも、各地の固有事情への視点が重要である。「中心／周辺」性は重層的構造を持っている。

「長崎県対馬市」なのか「福岡圏対馬市」なのか。しばしば地元で囁かれるジョークだが、たしかに行政的には長崎県に属しながら経済的には福岡との結びつきが強い。極端な場合、福岡県への編入が話題に上ることもある³³。類似のケースは各地にあるとはいえ、対馬の場合は「国境の島」という要素が加わる。どこを中心と見るかにより対馬の位置づけが変わるばかりか、「対馬＝周辺」という想念じたいが怪しくなる。

対馬南部の厳原港から福岡へは 138 km、高速船（ジェットフォイル）で約 2 時間なのに対し、対馬北部の比田勝港からプサン（韓国）へは 49.5 km、ジェットフォイルで約 1 時間の

距離である。1999年の航路開設以来、対馬を訪れる韓国人は急激に増え、貴重な収入源となっている。それだけに、2020年前後の日韓関係の悪化やコロナウイルス蔓延による観光客の減少は、航路の運航停止と収入減少を招いた。

対馬の政治・経済の中心地は厳原地区で、旧上対馬町など島の北部は人口まばらである。しかし、韓国人来訪者を迎えるようになってからの比田勝港の賑わいは、『北海道新聞』の連載記事³⁴にもあるとおりである。こうした変化の中で、反作用のようなものも否定できない。対馬は韓国人に乗っ取られてしまうとも言わんばかりのヘイト言説が受け入れられかねない雰囲気醸成である。

2016年4月、「有人国境離島地域の保全及び特定有人離島地域に係る地域社会の維持に関する特別措置法（平成28年法律第33号、有人国境離島法）」が議員立法として成立した³⁵。当該地域の保全等が適切に実施されるよう、関係都道府県および関係省庁と連携し、関連施策の実施に取り組むためのもので、例えば本土と結ぶ航路・航空路線への補助により、島民は運賃低廉化の恩恵を受ける³⁶。対馬における韓国人の来訪や不動産取得の増加を念頭に、従来型の離島振興策を超えて国防上の観点が出てくるのが特徴である。2021年に成立した「重要施設周辺及び国境離島等における土地等の利用状況の調査及び利用の規制等に関する法律（重要土地利用規制法）」³⁷に基づき、指定地域内での不動産売買は制限される。

2020年の対馬市長選挙で、比田勝市長は、外国人による不動産取得も観光ビジネスなど目的が明確な場合には制限は望ましくないとの見解を示した³⁸。この市長選挙には、荒巻靖彦が対立候補として出馬している。強固な右翼思想の持ち主・活動家である荒巻が、嫌韓ヘイトに便乗するかたちで参戦したことは想像に難くない。大阪出身で対馬には縁もゆかりもなく、過激な言動の対立候補を下して現職市長が再選を果たすのは、明白だった。だがこのような対立候補が出たことは、嫌韓ヘイトが思わぬかたちで最終処分場誘致運動に結びつく可能性を示唆する。これも「国境の島」の特殊事情といえよう。

逆に、日韓関係が最終処分場建設を妨げる方向で作用することはないだろうか。従来、国内問題と捉えられてきた原発（関連施設を含む）建設が、外交・国際問題化する可能性は多分にある。地続きのヨーロッパで隣国との国境付近に原発が建設される例は少なくないが、グローバル化や欧州統合の進展の中で許容されにくくなるかもしれない。そのような時代に、九州よりも朝鮮半島に近い対馬に最終処分場を作るなど、韓国が黙っているだろうか。草の根の市民交流も無視し得ない。対馬の自然を愛し、足繁く通う対馬が核のゴミ捨て場とならないことを願う者は、日本のみならず韓国にもいる。

「中心／周辺」問題を論じる際に、忘れてはならない古くて新しい知見がある。迷惑施設立地をめぐる構造的差別は、重層的なかたちをとる。「本土」中心主義的な価値観からすれば対馬は「周辺」（最近の言葉では有人国境離島）だが、周辺内部にも階層構造がある。厳原を中心とする南部地域と、上対馬などの北部地域の格差には、すでに言及した。比田勝の賑わいと対照的な小集落や何もないところも北対馬にはある。

3. 3. 「中心／周辺」概念脱構築の試み

過疎地の地域経済の衰退や少子高齢化は、構造的問題である。その打開策として最終処分場文献調査に手を出す（出さざるを得ない）地方自治体を責め立てるだけでは、片手落ちである。だがここで、発想の転換が必要かもしれない。土地との結びつきを前提する「中心／周辺」概念を、「人」の観点から脱構築化できないだろうか。

キーワードは「関係人口」である。関係人口とは、2016年頃から生まれた新しい概念で「長期的な「定住人口」でも短期的な「交流人口」でもない、地域や地域の人々と多様に関わる者」と定義される。地域作りの担い手として重要な役割を果たし得る存在であるため、総務省の「これからの移住・交流施策のあり方に関する検討会報告書」（2018年）では「「ふるさと」に想いを寄せる地域外の人材との継続的かつ複層的なネットワークを形成し、地域へ貢献する人材の「ふるさと」との関わりを深め、継続させることが重要」と指摘される³⁹。関係人口を増やす試みのひとつに「域学連携」がある。対馬市はその先進事例であり、今後を見据えた新展開も注目される。

「国境離島・対馬市では域学連携を重要な施策のひとつとし、基礎自治体には珍しく、域学連携に関する政策分野別基本計画「対馬市域学連携地域づくり推進計画」（日本計画行政学会第17回計画賞最優秀賞受賞）を2014年度に策定した。この計画に基づき、対馬全体を国内外複数の大学のサテライトキャンパス「対馬学舎」に見立て、現場での「学び」というサービスへの対価として、離島地域に不足しがちな労力や若いエネルギー、専門性を学生・教員に提供してもらっている」⁴⁰。

プログラムの詳細や具体的成果は先行研究に譲るとして、本稿の問題関心は、関係人口というアイデアにより「中心／周辺」問題の脱構築化は可能かという点にある。結論は否である。そもそもこうした試みは、悪影響（周辺地域の人口減少）をいくぶん緩和するのが目的で、問題そのものを除去するわけではない。それにもかかわらず、「中心／周辺」概念を価値観のレベルで問い直す視点は重要である。

地域間の著しい経済格差を所与とする限り、「周辺」部から「中心」部へとほぼ一方通行的な人口移動が必然的に生じる。ここでいう人口とは、定住人口である。定住人口が減少しても、地域外（出身）の人が地域に協力してくれるならそれでよいのではないか。リピーターやファンとして訪問・短期滞在を繰り返す旅行者や、継続的に寄付やふるさと納税を行う人などが考えられる。より積極的に、一定期間以上居住地と関わるのが関係人口である。いくつかの成功事例はあるものの（移住や起業を決断する者もいる）、流出人口を埋め合わせるほどの数にはならない。

関係人口とは、定義上、地域外からやってくる人である。だが、一定期間以上居住して地域に積極的に関わるという意味なら、地域内にも似た属性の人はいる。典型的なのは、幼少期・学齢期を過ごした後地域外へ転出していく人である。このような人たちにどう対処するかは、「関係人口」概念が注目される以前から、人口流出地帯の自治体が頭を悩ませてきた

問題である。こうした地域は、生産年齢人口を大都市圏に供給する役割を担っている（リタイア後にUターンした者に福祉サービスを提供することもある）。人口動態と関わる問題は広域的・長期的視野から考えねばならない。

広域的・長期的観点からの利益・不利益の公正分配がうまくいかない場合、害悪は「周辺」地域に集中する傾向がある。迷惑施設が財政基盤の弱い小さな自治体に作られることが多いのもそのためだが、中でも放射性廃棄物最終処分場は鬼子のようなものである。大都市住民も含め、不利益の公正分配をいかにして実現するかを考えることが重要であり、「中心／周辺」問題の脱構築化が可能だとすればそうした思考過程を通じてのことである。

4. 暫定的結論

北海道の二つの自治体（寿都町、神恵内村）が2020年に文献調査に応募して以来、このような動きはなかったことから、「2023年対馬問題」には全国メディアの注目度も高かった。原発推進側してみれば、膠着状態を打ち破る願ってもないチャンスと映ったはずである。北海道のような地質学的条件の厳しい地域に代わり、対馬のようなところに重点が移っていくのだろうか。結果的に、対馬は文献調査に応募しなかったが、他地域への波及効果は小さくない。

「国境の島」が、破綻した原子力政策の「負の遺産」を押しつける圧力に抗して、どこまでレジリエンスを発揮できるのか。「本土」の脱原発運動も、それを支援する。だがここで疑問が出てくる。国策の歪みを跳ね返すべくエンパワーメントして、迷惑施設立地を免れた自治体ならいくつもある。それができなかったなら、エンパワーメントできなかった自治体の自己責任だろうか。これでは新自由主義の自己責任論と大差ない。

ここに、放射性廃棄物最終処分場立地問題を特定地域の枠の中で考えることの根本的限界がある。問われるべきは、「中心／周辺」の非対称な権力構造の中で、いかにして「不利益の公正分配」を実現して脱原発社会を構想するのかということである。

注

- 1 地方公共団体の財政力を示す指標で、基準財政収入額を基準財政需要額で除して得た数値の過去3年間の平均値。財政力が強いほど高くなり、1を超える団体は普通地方交付税の交付を受けない。
- 2 総務省のデータに基づく資料が、長崎県ウェブサイトの「令和3年度財政状況資料集（県内市町）」に掲載される。
- 3 倉澤治雄（2014）『原発ゴミはどこへ行く？』リベルタ出版、236頁。
- 4 高知県東洋町が関心を示したが、住民の反対により町長リコール運動にまで発展し、2007年選挙に勝った新町長の下で応募は取り下げられた。
- 5 経済産業省資源エネルギー庁のウェブサイトに掲載。
- 6 小野一（2022）「放射性廃棄物最終処分場立地問題と地方自治／2021年寿都町長選挙を手がかりに」『工学院大学研究論叢』59-2、1頁。
- 7 「核付き」を求める佐世保市に対し、久保勘一長崎県知事（当時）は「核抜き」を主張して反対派の理解

- を求めたが、結局は「核付き」入港だった（2020年8月24日付け西日本新聞ウェブサイト「原子力船「むつ」受け入れに悔し涙 原爆を背負って」）。1995年に原子炉室を取り外された「むつ」は海洋科学技術センター（現海洋研究開発機構）に引き渡され、現在は「みらい」として運航されている。
- 8 2007年3月30日付け「しんぶん赤旗」（ウェブ版）には次のような記述がある。「対馬は、旧「動燃（動力炉核燃料開発事業団）」が民間会社に委託し極秘に実施した「地層調査」（1984年）と「広域調査」（86年）の報告書で処分場に適していると評価され、「佐須奈南方」（旧上対馬と上県の間境付近）、「厳原南方」（旧厳原町南部）が候補地とみられます。」
 - 9 対話型全国説明会については、NUMOのウェブサイトで公表されている。2019年から22年までに134市区で開催実績がある。
 - 10 『朝日新聞』2023年7月11日2面。これにより、議員の中には、安全性について一定の理解ができたとして反対から賛成に変わった人もいたという（2023年6月22日付けNHKサイカル「揺れる島／“核のごみ”調査受け入れか否か 16年越しで再燃した議論 長崎・対馬」）
 - 11 『対馬新聞』2023年4月21日3面。
 - 12 『対馬新聞』2023年4月28日1面。対馬市商工会は、臨時理事会で高レベル放射性廃棄物の文献調査に関する請願書について審議し、異議がなかったことから市議会に請願書を出すことを決定した。その際報告されたアンケート調査の結果は、総代定数120人のうち欠員3名を除く117人中、同意する76人、同意しない20人、判断できない19人、通知なし2人だった（『対馬新聞』2023年5月26日2面）。
 - 13 その後、6月22日の対馬市議会一般質問において、比田勝尚喜市長は、昨年判明した対馬近海にある活断層の存在を「考慮してほしい」と答弁した（『長崎新聞』2023年6月23日11面）。NUMOの説明会資料では活断層の存在が踏まえていないとの脇本啓喜議員の指摘に答えてのもの。
 - 14 『対馬新聞』2023年5月26日3面。
 - 15 前身の『対馬朝日新聞』は、1939年5月、明治時代から続く2紙が合併して誕生した。戦時下の中断を経て、1946年5月に『対馬新聞』が発刊された（<https://tsushimaya.com/page-2/>）。現在の『対馬新聞』は4ページ立てで毎週金曜日発行。発行部数は島内外あわせ1,100部。
 - 16 『対馬新聞』2023年4月28日3面。
 - 17 それ以外の市民団体としては「対馬の未来を考える会」があり、「全てのテーマにおいて賛成／反対に捉われないニュートラルな立場から情報を精査し発信していく、7世代先の対馬の環境保全と地域の発展を考える会」と自己規定する。
 - 18 『対馬新聞』2023年6月9日1面。
 - 19 6月19日に開かれた対馬真珠養殖漁業協同組合の年次総会では、6月5日付けで提出した請願書を、16対15（白票4）で取り下げることで決められた（2023年7月25日付け朝日新聞デジタルの記事より）。
 - 20 『対馬新聞』2023年7月14日1面。同様の見解は、別の新聞記者も表明している。「市民を参考人に招いたのは議会側なのになぜ、けんか腰で揚げ足を取り、署名や意見を否定する必要があるのだろうか。特別委はテレビで中継され、視聴者の中には、あきれている人もいた。市民の代表者が、こういう態度でいいのだろうか」（『長崎新聞』2023年8月8日、記者の目）。2023年7月11日付け朝日新聞デジタル「議場で市民に「なめてるのか」も参照。
 - 21 この意見交換会の備忘録が、脇本のブログに掲載されている。<https://note.com/wakimoto2030/nd475d493e548>
 - 22 対馬市ウェブサイト掲載の情報などを基に作成。<https://www.city.tsushima.nagasaki.jp/gyousei/soshiki/gikaijiumukyoku/gikai/450.html>
 - 23 2023年3月7日付け読売新聞オンライン <https://www.yomiuri.co.jp/local/nagasaki/news/20230306-OYTNT50079/>
 - 24 林紀行（2019）「請願権と地方議会」『法政治研究』5号、31-32頁。
 - 25 前掲書43頁。
 - 26 『朝日新聞』2023年8月17日27面。
 - 27 概念上は原発（関連施設を含む）も「負の公共財」であり、そうした迷惑施設の立地過程は、社会学ではNIMBY（Not In My Back Yard）という概念を用いて分析される。
 - 28 今井一（2011）『「原発」国民投票』集英社、67頁。
 - 29 ダニエル P.アルドリッチ（2012）『誰が負を引きうけるのか／原発・ダム・空港立地をめぐる紛争と市

- 民社会』湯浅陽一監訳、リンダマン香織・大門信也訳、岩波書店、47 頁。(原著は Daniel P. Aldrich, 2008, *Site Fights: Divisive Facilities and Civil Society in Japan and the West*. New York: Cornell University Press)
- 30 中澤高師 (2023) 「受益圏と受苦圏の分離がもたらす不公正問題」今田高俊・寿楽浩太・中澤高師『核のごみをどうするか／もう一つの原発問題』岩波書店、第 6 章、161 頁。
 - 31 Andrew Blowers (2003) Inequality and Community and the Challenge to Modernization: Evidence from the Nuclear Oases. In: J. Agyeman, R. D. Bullard, and B. Evans, eds. *Just Sustainability: Development in an Unequal World*, London: Earthscan Publications Ltd., pp. 64-80. 等参照。
 - 32 小野一 (2022) 「放射性廃棄物管理政策研究のパラダイム転換を求めて」『境界研究』12 号、19 頁。
 - 33 管見では、対馬の人たちの長崎県への帰属意識は強く、福岡県への編入はまず考えられない(意味がない)。ただし最終処分場問題との関連で、この議論が奇妙なかたちで顔を出すことがある。誘致反対派の論拠のひとつは、被爆県である長崎の県民感情に反する施設は受け入れられないというものだが、誘致派にしてみれば、対馬市の選択に長崎県(知事)がストップをかけるのが自治権の侵害のように思われる。
 - 34 同紙は 2021 年 10 月 12 日から 22 年 3 月まで、「海と国境」第 7 部「境界地域のこれから」を 82 回にわたり掲載した。シリーズ初回には、「国境の海」と接する境界地域。多くが過疎と経済不振にあえぐ中、対馬市や稚内市などは活路の一つとして隣国との対岸航路を開設し、「ゲートウェイ(玄関口)」として経済浮揚を目指してきた。一方で中国の海洋進出などを背景に、国は有人国境離島を海洋権益と領土を守る拠点と位置付け、支援を強化している。「海と国境」シリーズ最終の第 7 部は国の離島・海洋政策なども踏まえて、国境地域の「いま」を伝え、これからの考えてみたい」とある(『北海道新聞』2021 年 10 月 12 日 6 面)。
 - 35 『北海道新聞』2022 年 2 月 24 日 6 面。同法第 5 条で「国は、有人国境離島地域に国の行政機関の施設を設置するよう努めるものとする」とするが、第 1 条には「安全」も「安全保障」の言葉もない。元対馬市長・松村良幸が指摘していた「全国離島振興協議会(全離島)を二分する」との反対論に配慮して、波風を起こす言葉をあえて入れなかったのだという(『北海道新聞』2022 年 3 月 24 日 6 面)。現行法に先立ち 2012 年には、元陸上自衛隊幹部の参院議員らが国境離島法案を提出しているが、衆院解散のため廃案となった。現行法と比べ廃案のほうでは、どちらかと言えば「離島振興」より「保全」に重きが置かれ、行政機関の施設設置として自衛隊と海上保安庁が例示されている。
 - 36 有人国境離島法に基づく「運賃の低廉化」後の運賃水準は、フェリーは JR 在来線並み、高速船は JR 特急自由席並み、ジェットフォイルは同指定席並み、航空機は新幹線並みに設定された。例えば、対馬から福岡または長崎への島民航空運賃(2017 年時点)は、それぞれ 7,300 円と 8,300 円(普通運賃は 15,900 円と 17,300 円)である。割引額のうち国が 55%、都道県と市町村が各 22.5%を負担する(『北海道新聞』2022 年 3 月 4 日 6 面)。2021 年度の地域社会維持推進交付金の地域別一覧表は、同シリーズ 66 回目に掲載(『北海道新聞』2022 年 3 月 10 日 6 面)。都道県別の交付金では、対象離島が多い長崎県が最も多く、予算枠 50 億円のうち 57.9%を占める。
 - 37 同法に対しては、私権の制限や拡大解釈のおそれなどの批判がある他、立法事実そのものにも疑問がある。対馬市も含め、自衛隊施設のある地方自治体から法整備を求める意見書が出された例はほとんどない。
 - 38 『北海道新聞』2021 年 11 月 2 日 6 面。対馬市の調査(17 年度)によると、韓国資本が取得した対馬の土地は全体の 0.009%だった。
 - 39 前田剛(2020)「域学連携による関係人口づくり／長崎県対馬市を事例に」『人間環境論集』21 巻 1 号、52 頁。
 - 40 前掲書 58 頁。

生体物質を探索するための 多機能サブマイクロピペットの開発

高見知秀, 西山北斗, 渡辺 悠, 大見春奈,
太田望月, 小野菜奈美, 渡部みなみ, 宮下一帆,
三井大虎, 米田里緒, 澁谷 興, 阿久津祐介,
金子直暉, 大友千恵, 井上瑞紀, 小澤眞美子,
真柄英之, 小川修一, 虻川匡司

Development of Multi-Functional Submicropipettes for Exploring Biomaterials

TAKAMI Tomohide, NISHIYAMA Hokuto, WATANABE Yu,
OMI Haruna, OHTA Mizuki, ONO Manami, WATABE Minami,
MIYASHITA Kazuho, MITSUI Taiga, YONEDA Rio,
SHIBUYA Kyo, AKUTSU Yusuke, KANEKO Naoki, OHTOMO Chie,
INOUE Mizuki, OZAWA Mamiko, MAGARA Hideyuki,
OGAWA Shuichi, and ABUKAWA Tadashi

抄録和訳

本総説は、工学院大学ナノ化学研究室で平成28年度から令和5年度までに行ってきた、直径1マイクロメートル以下のガラスピペットであるサブマイクロピペットに関する卒業論文と修士論文をまとめたものである。ガラス製サブマイクロピペットは細胞手術やナノ加工など様々な用途に使用されている。ここでは、その内径の空間分解能を利用した、イオン選択的検出、抽出、吸引などの多機能サブマイクロピペットについて解説する。さらに、ピペットの内部が複数に分かれていることで、抽出、吸引、測定などが同時に行うことが可能となるマルチバレルサブマイクロピペットを用いた研究についても解説する。

Abstract

This review paper summarizes the bachelor theses and the master thesis works between 2016 and 2023 fiscal years in Nanotechnology Chemistry

Laboratory, Kogakuin University, described on glass submicropipettes, the pipettes with their diameters less than one micrometer. Glass submicropipettes have been used for cell surgery, nanofabrication, and various applications. Here we show the capabilities of the multi-functional submicropipettes, such as ion-selective detection, extraction, aspiration, with the spatial resolution of their inner diameters. We also show the work on multi-barrel submicropipettes that can be used for simultaneous operation such as extraction, aspiration and measurements.

1. Preface

Glass submicropipettes have been used for various applications such as cell surgery, nanofabrication, and microscopy¹. We have been exploring the capabilities of glass submicropipettes. In this review paper, our attempts to extend the function of glass submicropipettes by developing the component methods in order to realize beetle robot “*nano-mosquito*”², with showing the concept flag in Fig.1. The design of the *nano-mosquito* is inspired from the beetle STM developed by Besocke. The quote “Learn from nature and create what is not in nature” is by Dr. Heinrich Rohrer who invented STM.

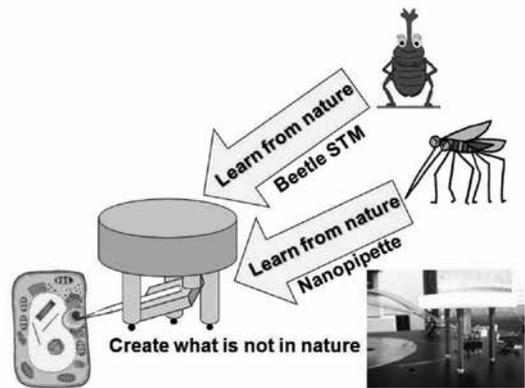


Fig.1 Schematic concept of a “*nano-mosquito*”; three-legged beetle-type robot with a submicropipette. See Ref. 2 for more details on the *nano-mosquito*. The illustrations were partly prepared by Miyuki Miyata.

2. Preparation of micro- and nano-pipettes

The glass pipettes were prepared with filament-based submicropipette puller (P-97/IVF, Sutter Instrument). A glass capillary loaded into the puller bar is softened by heating with a filament to a certain degree before the hard pull, and the capillary is then separated into two glass submicropipettes. This machine has four parameters to control the heat, pull, and time to adjust the shape of the as-prepared submicropipettes³.

- (1) HEAT: the output power of the filament heat, and consequently the amount of energy supplied to the glass capillary. It is noted that the HEAT value corresponds approximately to the puller filament temperature in $^{\circ}\text{C}$.

- (2) VELOCITY: the velocity at which the puller bar must be moving before the hard pull is executed.
- (3) DELAY: the timing of the start of the hard pull relative to the deactivation of the laser.
- (4) PULL: the force of the hard pull.

Though there are slight differences between instruments, submicropipettes with diameters of 0.3-1 μm can be successfully prepared by synergistically adjusting these four parameters. Borosilicate glass is usually used to prepare these submicropipettes because borosilicate glass is easy to control the shape of the pipettes and cheap. As the heating temperature (HEAT value) was increased, the taper length of the resulting submicropipette tended to increase. Settings with a HEAT value exceeding 785 were not performed because of the risk of damage to the heating filament of the puller device. Also, when the HEAT value was lower than 740, the glass capillary was not heated sufficiently to soften the glass capillary, and thus could not be fabricated^{4,5}.

Sutter's manual³ mentions that the tip inner diameter becomes smaller as the HEAT value is increased. The desired result is obtained when the temperature is increased too much because the tip inner diameter exceeds the softening point of borosilicate glass by much more than 730°C. The stability of the tip inner diameter obtained depends on the heating temperature. However, too high a temperature will not give the desired results because it is well above the softening point of borosilicate glass, 730°C. On the other hand, too low a temperature below the softening point will result in a very unstable tip. On the other hand, setting too low a temperature below the softening point results in unstable conditions for making the tip bore, resulting in failure to burn out the tip. Therefore, the optimum heating temperature for 3-step pulling is considered to be 742, which is close to the softening point as the HEAT value^{4,5}.

Next, we will discuss the 4-step pulling. In making submicropipettes with pullers, four-step pulls are not mentioned in the Sutter manual³, because in general, more than four-step pulls are difficult and unstable results have been obtained. In this study, we also tried various 4-step pulling conditions, but the tubing burned out before the 4th step, making it impossible to fabricate a stable pipette or even a pipette. In this situation, we succeeded in pulling the pipette in four steps and obtained a stable parameter of 845 ± 5 nm. The reason why this 4-step parameter was obtained is thought to be that the problem of the inability to burn out the tubules at low HEAT was solved by lowering the VELOCITY and DELAY values, and the tubules were burnt out firmly even at low temperatures^{4,5}.

On the other hand, it is possible that not only heating temperature but also dust, oil, and humidity adhering to the fine tube may affect the variation of the tip inner diameter.

However, since a large amount of experimental data would be required to demonstrate the effects of humidity and other factors, there is room for further investigation of these factors^{4,5}.

Although the taper length tends to increase as the HEAT value is increased, the difference is not as great as expected and does not change at temperatures above 770°C. Therefore, it is considered difficult to further increase the taper length while maintaining the tip inner diameter in the 3-step pulling process. Therefore, it is expected that the 4-step pulling method, which requires a greater number of pulls, will result in a longer taper length than the 3-step pulling method, though there is room for further investigation of this issue. In anyway, we found stable parameters to produce submicropipettes as shown in Tables 1 and 2^{4,5}.

Table 1 Stable parameter to achieve 505 ± 20 nm pipettes using 3-stage process^{4,5}.

	HEAT	PULL	VELOCITY	DELAY
1st	742	0	30	250
2nd	732	0	40	250
3rd	722	30	55	250

Table 2 Stable parameter to achieve 845 ± 5 nm pipettes using 4-stage process^{4,5}.

	HEAT	PULL	VELOCITY	DELAY
1st	727	0	10	230
2nd	717	0	20	230
3rd	717	0	30	230
4th	707	30	40	230

We considered that the application of this 4-step pull parameter provides the key to searching for parameters to stably fabricate “multi-channel pipettes,” such as the two-part “theta pipette”, which is difficult to fabricate in the past and is not shown in the Sutter manual³.

The suitable parameters to fabricate dual-barrel submicropipettes were not clear and no reports on these parameters to fabricate double-barrel pipettes with high accuracy and homogeneity. Kaneko found that these parameters determine the stability and accuracy of the pipette fabrication; unsuitable parameters sometimes resulted in the half-open of the double-barrel or the standard deviation of the inner diameter is more than 10%⁶. We tried 32 kinds of the combination of the parameters, and more than three times fabrications were conducted for each parameter. In this way, we have obtained a parameter to fabricate double-barrel borosilicate submicropipette at 1 μm , as shown in Table 3⁶. The average total inner diameter of the prepared micropipettes was 513 ± 25 nm. With our

efforts, the limit of the small diameters and the short taper length of the double-barrel glass pipettes were 0.5 μm and 5.2 mm, respectively, using our filament-type puller. Laser-puller could fabricate small-diameters and shorter-taper double-barrel submicropipettes⁶.

Table 3 The best parameters for the fabrication of 1 μm double-barrel pipette⁶.

	HEAT	PULL	VELOCITY	DELAY
1st	761	0	30	200
2nd	751	0	40	200
3rd	751	50	50	200

We also investigated the influence of the direction of the glass tube set in the puller. We tried (1) perpendicular, (2) horizontal, and (3) 45° tube setting by using the parameter shown in Table 1, and the standard deviations were (1) 5.07%, (2) 7.09%, and (3) 18.10%, respectively. Therefore, we concluded that perpendicular setting of the glass tube is suitable for the stable fabrication of the double-barrel submicropipettes⁶.

3. Observation of the tip top of submicropipettes by scanning electron microscopy

The observation of the edge of insulators such as glass usually suffered from charge up during the observation with electron beam by scanning electron microscopy (SEM). Here we demonstrate the method to prevent tip top glass pipettes from charge up.

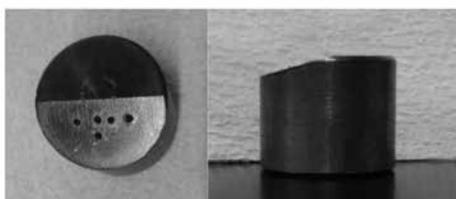
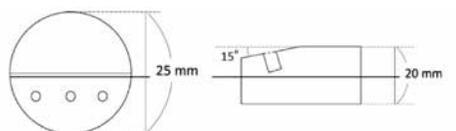


Fig. 2 Top view (left) and side view (right) of the copper sample stage for the observation of the tip top of glass pipettes; the schematic drawings (upper) and the photos (lower)⁷.

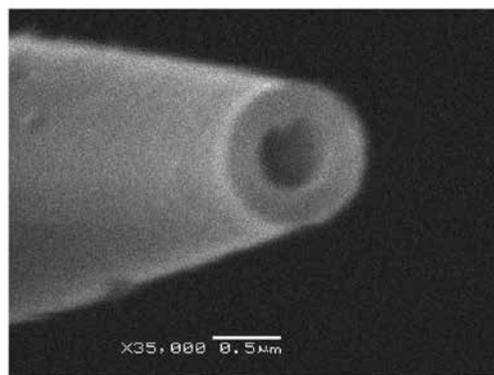


Fig. 3 Scanning electron microscope image of the tip top of the glass submicropipette, observed at the tilted angle of 15°⁷.

Ono used conventional antistatic spray (Elegard® manufactured by Lion Inc.)⁷. Among the components of Elegard®, those involved in antistatic properties are polyethylene glycol and alkyl trimethyl ammonium salt, and they pretend like ionic liquids. Thus, strong Coulomb forces act between the nitrogen ions of the alkyl trimethylammonium salt and the oxygen ions of the polyethylene glycol, and they exhibit the same properties as an ionic liquid.

Moreover, Ono prepared a copper sample stage to observe the tip top of glass submicropipettes at the suitable angle 15° . Figure 2 shows the photo of the prepared sample stage. Figure 3 shows a typical SEM image of the glass submicropipettes. The sample stage allows the glass submicropipettes to be tilted 15° from the vertical when viewed from the side, as shown in Fig. 3, making it easier to observe the tip with SEM⁷.

4. Evaluation of inside of submicropipettes with gas flow method, using Gompertz function for simulating the shape of submicropipettes

The outer shape of the fabricated submicropipettes can be examined with SEM observation. However, the inner shape and cleanliness cannot be observed because electron is not transparent to glass. Therefore, we have developed the gas flow method to investigate the inner shape and cleanliness of sub-micropipettes⁸⁻¹².

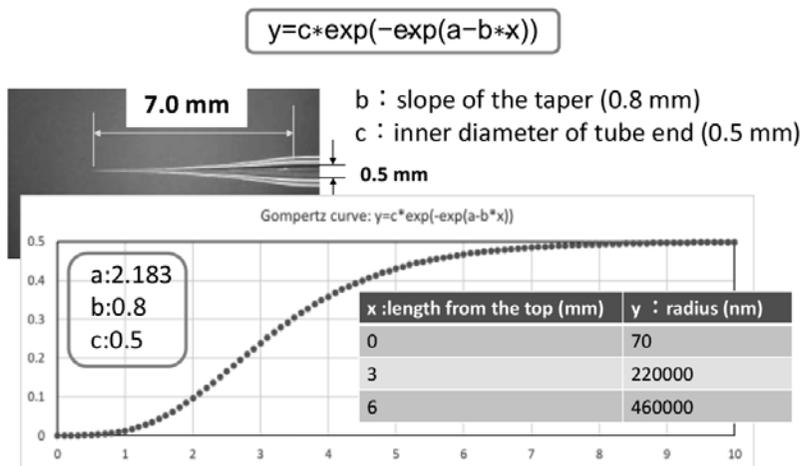


Fig. 4 How to fit the shape of submicropipette with Gompertz curve¹¹.

For the simulation of the gas flow through glass submicropipettes in order to investigate the inner shape and cleanliness, we need a function to fit the shape of

submicropipettes. We found a suitable function of Gompertz function,

$$G(x) = c \exp[-\exp(a - bx)],$$

where a , b , and c are the constant parameters. The Gompertz function is commonly used for the growth curve with its applications such as economical management and population growth model^{11,12}. Figure 4 shows how we fit the Gompertz function to the shape of submicropipette¹¹. In this way, we have established a method to evaluate the fabricated submicropipettes with non-distractive measurement combined with the shape simulation^{11,12}.

5. Various ion-selective electrodes prepared in glass pipettes

Son reported separate detection of sodium and potassium ions by preparing ion-selective membrane (ISM) in submicropipettes¹³, and Deng reported calcium-ion ISM in glass submicropipettes¹⁴. We have ever prepared cesium^{15,16} and chlorine¹⁷ ISMs. We have explored the signal detection system using rock-in¹⁸ or common patch clamp amplifier^{19,20}.

Nishiyama developed a method to prevent ISM from mixing with water during the preparation process^{15,16}. Figure 4 shows the photos showing the process to fabricate the ISM in submicropipette. It is noted that the photos show upside down. First, pure water was filled in the submicropipette to the shank end using a micro-syringe (A-1). Then, we poured *ca.* 0.01 μL cyclohexane (Sigma-Aldrich, purity >99.0%, CAS 110-82-7) on the water (A-2). After making the cyclohexane solvent layer on the water, 10 μL of (i) 32 mg of poly (vinyl chloride) (PVC) (Sigma-Aldrich, high molecular weight, CAS 9002-86-2) for the main resource of the membrane, (ii) 62 mg of 2-Nitrophenyloctylether (NPOE, Dojindo, purity >99.0%, CAS 37682-29-4) for the plasticizer, (iii) 5 mg of 1,3-alternate thiocalix [4] biscrown-6,6 for the cesium ion-selective ionophore, and (iv) 1 mg of tetrakis [3,5-bis (trifluoromethyl) phenyl] borate, sodium salt (TFPB, Dojindo, purity >99.0%, CAS 79060-88-1) for the anion repeller, which were dissolved in 1 mL tetrahydrofuran (THF, Sigma-Aldrich, purity >99.9%, with 250ppm dibutyl-hydroxytoluene (BHT) for the stabilizer, CAS 109-99-9), which we call the mix solution "PVC solution" in the caption of Fig. 5 (B-1), and were poured in the submicropipette. The solution put in submicropipette was dried to cure the PVC membrane (B-2). It is noted that the cyclohexane solvent was finally transpired with THF on the drying process. In this way, using cyclohexane before pouring the solution is the improved point in this study^{15,16}.

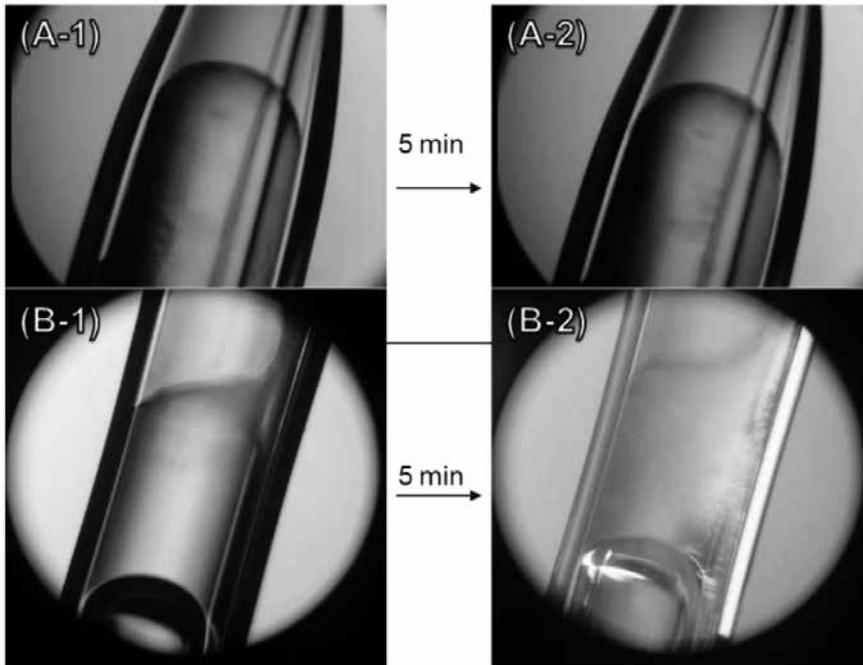


Fig. 5 Photos of submicropipette tube during the curing process of PVC membrane inside the submicropipette. (A-1): After pouring the PVC solution on the distilled water covered with cyclohexane. (A-2): Five minutes later after taking the photo (A-1). (B-1): After pouring the PVC solution on the distilled water, without using cyclohexane. (B-2): Five minutes later after taking the photo (B-1)^{15,16}.

6. Double-barrel ion-selective electrodes

Kaneko found the best parameter to fabricate double-barrel submicropipettes⁶. Akutsu succeeded in preparing different ISEs in each barrel of double-barrel submicropipettes²¹, which we reported the results in eJSSNT²².

Akutsu discovered a way to prepare double-barrel submicropipettes to avoid the formation of bubbles in the ISM caused the disturbance of the ion-selective signal²¹. Even after confirming the absence of bubbles with an optical microscope, bubbles sometimes appear when the dried ISM is checked again with an optical microscope, which resulted in no signal detected as well. For solving the bubble formation problem, the tip of a double-barrel pipette was immersed in pure hot water (90 °C) during the dry process to form ISM in the double-barrel pipette. Even if there are no bubbles after drying, the ISM might peel off from the inner glass wall when the electrolyte was filled in the pipette, which used

to occur in the case that the adhesive area between the ISM and the inner wall of the glass pipette was small²¹. This problem could be solved by fabricating the ISM closer to the tip, as reported previously²³, and by reducing the filling volume of the ISM solution to $1 \mu\text{L}$ ²³.

7. Double-barrel micropipette used for tuning folk non-contact microscope

Yoneda developed frequency-modulation atomic force microscope (FM-AFM) with a double-barrel submicropipette, by modifying an existing SPM apparatus (JEOL JSPM-5200)²⁴. A theta-tube submicropipette was glued to a quartz tuning folk (QTF) oscillator, and the Q value was estimated. The operation of the external device was confirmed by determining the resonance frequency of the QTF with pipette. An image based on frequency modulation was obtained as FM-AFM using a double-barrel submicropipette. Figure 6 shows the block diagram of the FM-AFM with a double-barrel submicropipette. The developed apparatus would be a future study of simultaneous action of measurement and fabrication.

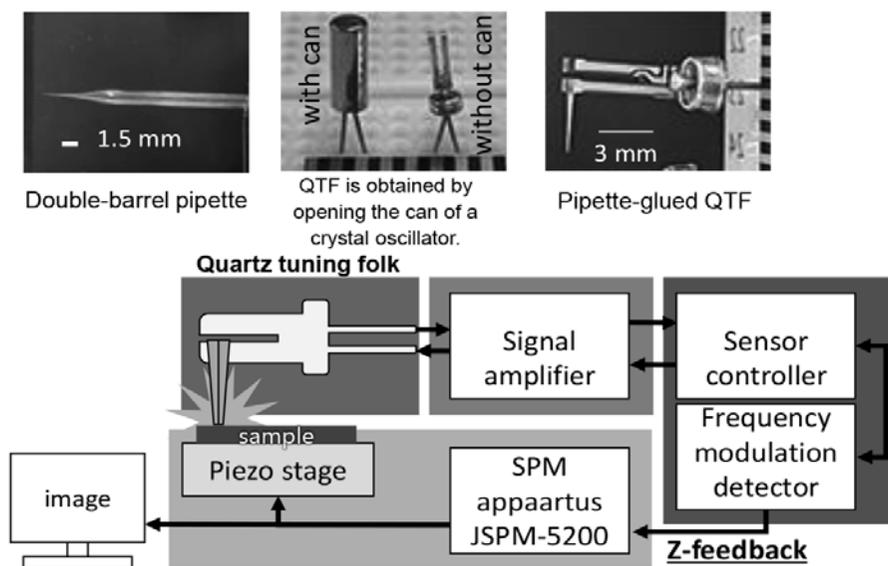


Fig. 6 Schematics of FM-AFM with double-barrel submicropipette developed in our laboratory²⁴.

8. Automatic injection to living cells

Yokogawa Electric Corporation developed Single Cellome™ Unit, SU10, which would be a promising tool to explore molecular dynamics in living cells²⁵. We rent the apparatus from Yokogawa, and tested the injection of fluorescent molecule into a HeLa cell, one of the famous cancer cell. Figure 7 shows typical results of automatic injection, conducted by a master course student, after learned how to use from Yokogawa Electric Corporation for several hours²⁴.

9. Remarks

We have developed component methods to realize automatic injection robot, “*nano-mosquito*”², by integrating the developed methods of pipette fabrication⁴⁻⁶, evaluations by SEM⁷ and gas flow method⁸⁻¹², ISEs for various ions¹⁵⁻²⁰, double-barrel ISE micropipettes^{21,22}, combination of FM-AFM with QTF²⁴, and automatic injection system developed by Yokogawa Electric Corporation^{24,25}. We promise that the developing tool will contribute to the development of various fields such as cell engineering and nano-fabrication.

Acknowledgments

We would like to thank Prof. Atsushi Sekiguchi of Kogakuin University for the discussion of vacuum conductance. We are also grateful to Dr. Fumitaka Kamachi of Yokogawa Electric Corporation for providing us with the nanopipettes. This work was performed under the Cooperative Research Program of the Network Joint Research Center for Materials and Devices (No. 20211087), and JSPS KAKENHI Grant Number 19K05275.

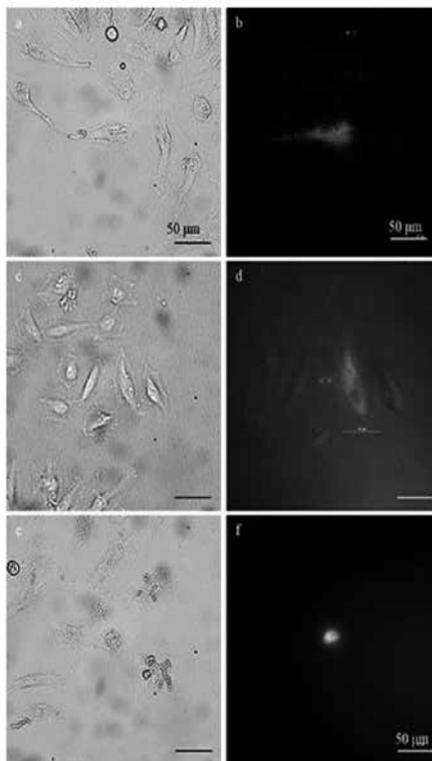


Fig. 7 Demonstration of SU-10²⁵; injection of FITC, fluorescent molecule, to HeLa cell²⁴.

References

- 1 T. Takami, T. Kawai, and B. H. Park, *Nano Convergence*, **1**, 17 (2014).
- 2 T. Takami, X. L. Deng, J. W. Son, B. H. Park, and T. Kawai, *Jpn J. Appl. Phys.*, **51**, 08KB12 (2012).
- 3 A. Oesterle, “*P-1000 & P-97 Pipette Cookbook*”, Rev.E (Sutter Instruments, 2009, Novato CA).
- 4 三井大虎, 令和二年度工学院大学先進工学部生命化学科卒業論文 (2021).
- 5 三井大虎, 高見知秀, 工学院大学研究報告 (in Japanese), **130**, 1-11 (2022).
- 6 金子直暉, 令和三年度工学院大学先進工学部生命化学科卒業論文 (2022).
- 7 小野茉奈美, 令和元年度工学院大学先進工学部生命化学科卒業論文 (2020).
- 8 太田望月, 平成三十年代工学院大学先進工学部応用化学科卒業論文 (2019).
- 9 宮下一帆, 平成三十一年度 (令和元年度) 工学院大学先進工学部応用化学科卒業論文 (2020).
- 10 澁谷 興, 令和二年度工学院大学先進工学部応用化学科卒業論文 (2021).
- 11 大友千恵, 令和四年度工学院大学先進工学部生命化学科卒業論文 (2023).
- 12 T. Takami, C. Ohtomo, N. Kaneko, K. Shibuya, K. Miyashita, M. Ohta, R. Yoneda, M. Ozawa, H. Magara, S. Ogawa, and T. Abukawa, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, **21**, 257-261 (2023).
- 13 J. W. Son, T. Takami, J.-K. Lee, B. H. Park, and T. Kawai, *Appl. Phys. Lett.*, **99**, 033701 (2011).
- 14 X. L. Deng, T. Takami, J. W. Son, T. Kawai, and B. H. Park, *Appl. Phys. Express*, **5**, 027001 (2012).
- 15 西山北斗, 平成二十八年度工学院大学工学部応用化学科卒業論文 (2017).
- 16 H. Nishiyama, and T. Takami, *Res. Rep. Kogakuin Univ.* (in English), **123**, 59-64 (2017).
- 17 渡部みなみ, 平成三十一年度 (令和元年度) 工学院大学先進工学部生命化学科卒業論文 (2020).
- 18 大見春奈, 平成三十年代工学院大学先進工学部応用化学科卒業論文 (2019).
- 19 渡辺 悠, 平成二十九年度工学院大学工学部応用化学科卒業論文 (2018).
- 20 井上瑞紀, 令和五年度工学院大学先進工学部応用化学科卒業論文 (2024).
- 21 阿久津祐介, 令和三年度工学院大学先進工学部生命化学科卒業論文 (2022).
- 22 T. Takami, Y. Akutsu, N. Kaneko, R. Yoneda, H. Magara, S. Ogawa, and T. Abukawa, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, **21**, 17-23 (2023).
- 23 E. J. Kang, T. Takami, X. L. Deng, J. W. Son, T. Kawai, and B. H. Park, *J. Phys. Chem. B*, **118**, 5130 (2014).
- 24 米田里緒, 令和四年度工学院大学大学院化学応用学専攻修士論文 (2023).
- 25 SU-10 Automatic injection system, Yokogawa Electric Corporation (<https://www.selectscience.net/products/single-cellome-unit-su10/?prodID=226106>).

(たかみ ともひで 教育推進機構 教授)
(にしやま ほくと 工学部応用化学科 卒業生)
(わたなべ ゆう 工学部応用化学科 卒業生)
(おおみ はるな 先進工学部 卒業生)
(おおた みづき 先進工学部 卒業生)
(おの まなみ 先進工学部 卒業生)
(わたべ みなみ 先進工学部 卒業生)
(みやした かずほ 先進工学部 卒業生)
(みつい たいが 先進工学部 卒業生)
(よねだ りお 大学院化学応用学専攻修士課程修了)
(しぶや きょう 先進工学部 卒業生)
(あくつ ゆうすけ 先進工学部 卒業生)
(かねこ なおき 先進工学部 卒業生)

(おおとも ちえ 先進工学部 卒業生)

(いのうえ みずき 先進工学部 卒業生)

(おざわ まみこ 東北大多元物質科学研究所 技術職員)

(まがら ひでゆき 東北大多元物質科学研究所 技術職員)

(おがわ しゅういち 日本大学生産工学部 准教授)

(あぶかわ ただし 東北大多元物質科学研究所 教授)

聴力と発音の同時訓練

— 大学第2外国語中国語授業における実践と調査分析 —

閻 瑜

Simultaneous Training in Listening and Pronunciation Practical Implementation

Survey Analysis in University Chinese Language Courses
as a Second Foreign Language

YAN Yu

要 旨

日本学习汉语的学生由于能够阅读汉字，因此往往容易疏忽听力和发音的练习。在大学2外汉语教学中，由于学习时间有限，如何有效进行听力和发音的训练一直是一个具有挑战性的问题。本文基于以往的研究成果，认为听力和发音是相互关联的，因此应同时进行训练。笔者选择了大学指定教材的课文作为训练材料，采用了课堂内练习和课后布置作业的方式，对大约200名学生进行了为期一年的训练。本文详细记录了这一训练的方法及学生在这一过程中的变化。此外，还进行了问卷调查，并对调查结果进行了深入分析。问卷调查的结果显示，采用这种同时训练听力与发音的方法，能够有效提高学生的语言技能水平。本文强调了在大学2外汉语教育中同时进行听力与发音训练的重要性，并试图提供一种有效的训练方法，以期改进大学2外汉语教学提供有益的建议，同时也为汉语学习者提供更优质的学习体验。

キーワード：聴力、発音、同時訓練、本文の活用、授業中と授業後の練習

1. はじめに

1.1 大学の2外中国語教育における問題点

多くの研究と実践から明らかになっているように、聴力と発音は中国語学習において極めて重要である。しかし、日本の学生は漢字を理解できるため、聴力と発音の練習を軽視する傾向がある。郭春貴（2012）が指摘したように、現在の日本の大学における第2外国語とし

での中国語（以下「2外中国語」と略す）の授業の教材は、ほとんど音声トレーニングにあまり重点を置かない。また、授業時間が限られているため、教師たちは文法の説明や会話に焦点を当て、基本的な発音にあまり注意を払わないことがよくある。その結果、学生のリスニング能力の不足や発音の誤りなどの問題が生じることがある。

1.2. 聴力と発音のトレーニングにおける先行研究及び課題

聴力のトレーニング方法については、中国国内の研究は通常、中国に留学している外国人学生の学習に焦点を当てるため、ここではその点についての議論は行わない。一方、日本国内では、システムの開発（呉剣明 2003）、練習素材の選択（須山哲治 2010）、教材の編纂（杜英起 2017、何龍 2019・2020）、そしてトレーニング方法（中村俊弘 2003、藤田由香利 2015、竹中佐英子 2017、衛藤安奈 2019）など、様々な側面での先行研究が行われている。現在、日本国内の大学の2外中国語の授業は、中国で中国語を学んでいる学生とは異なり、学生は通常、授業の中でしか中国語を聞く機会がなく、聴解力を鍛える特別な授業を提供する大学も少なく、専門の聴解教材を使用することが難しい状況である。さらに、視聴覚室を使用できる大学も非常に限られている。したがって、本稿では、通常の教室で行われている日本国内の大学の2外中国語授業の総合コースを研究の対象とする。

発音のトレーニングに関して、多くの学者は、2外中国語の授業において発音に焦点を当てるか、発音練習の時間を増やす必要性を指摘している（郭春貴 2014、丁雷 2017、王寒松 2018）。また、反復朗読は中国語の発音を習得する効果的な方法であるとされている（衛藤安奈 2019）。さらに、杉本美穂等（2017）は、学生にスマートフォンの発音認識プログラムを活用して発音の練習を促す試みを行い、大島吉郎（2021）は学習目標のチェックリストを作成して発音のトレーニングを行う方法を提案し、李晨（2021）は歌を歌うことを通じて中国語を学ぶことを提案している。発音トレーニングの方法は多岐にわたるが、根本的には多読と多練習が必要であると言えよう。

須山哲治（2010）は、「聴力」のレベルは「話す」「読む」「書く」という3つの高度なスキルに変換できると指摘し、「聴く」能力は「聴く」「話す」「読む」「書く」という4つのスキルの中で非常に重要であり、他の3つのスキルの基盤となると述べている。同時に、英語の発音やイントネーションの習慣が聴力に影響を及ぼすという研究もあり（劉鉄虹 2019、海月 2022）、中国語の教育は英語とは異なる部分もあるが、この研究成果は参考になるであろう。このように、聴力と発音は互いに影響し合い、相互に促進関係にあることが分かる。

先行研究は、聴力と発音のトレーニングや実践において、それぞれ異なる観点から探究しているが、多くは聴力または発音の一方にしか焦点を当てていない。筆者は、聴力と発音が相互に影響し合い、互いに促進作用を持つとの立場から、聴力と発音の練習を組み合わせ、同時にトレーニングを行うべきだと主張している。

また、筆者が聴力と発音の重要性を強調し、これらのトレーニングを優先する理由は、中

村俊弘（2003）が指摘したことによるものである。彼は、理解または覚えられる中国語の表現が限られている場合、正確で完全な中国語を話すことはできないと述べており、会話自身が困難になることを指摘している。さらに、発音が正確でない場合、豊富な語彙や文法の理解があっても、相手に理解されないばかりか、コミュニケーションが取れなくなるとも指摘している。筆者はこの立場に同意し、会話の練習を効果的に行うためには、聴力と発音を先にしっかりと訓練する必要があると考えている。

限られた時間内で通常の教室で聴力と発音のトレーニングを行う方法について、筆者は授業のデザインを大幅に変更せず、既存の教材の本文を活用し、授業内で本文を聴き、それを再述させるなどの練習を行い、授業外でリスニングの宿題を設定し、CD（教材の音声）を使用して本文を音読させる方法を試みた。1年間にわたる授業内外での聴力と発音のトレーニングを実施し、その効果をアンケート調査と分析を通じて評価し、さらに反省も行った。この取り組みは、実行可能なアプローチをまとめることを目指している。

2. 聴力と発音のトレーニング方法

筆者の以前所属していた大学の2外中国語の授業は、《いつでも中国語1— 随時随所学中文—》および《いつでも中国語2— 随時随所学中文—》（成田静香他、朝日出版社）という教材が統一的に使用されていた。これらの教材は各レッスンが「対話1」と「対話2」の2つのセクションに分かれており、それぞれが単語、本文、文法、練習から成り立っている。本文は対話形式であるが、《いつでも中国語2— 随時随所学中文—》の後半では、対話と短文の2つの形式が使用されている。2外中国語の授業は1年生と2年生向けのもので、各クラスの規模は通常30人前後であるが、少ない場合は約15人、多い場合は40人近くいる。週に2回授業が行われ、各授業は100分間である。授業は日本の教師と中国の教師が交代で行う。

筆者は学生に事前に単語を予習させ、できる限り発音と意味を覚えるように指導した。授業中、通常の本文を読み上げてから訳す段階を省略し、代わりに本文の対話や短文を使用して聴力の練習を行った。具体的な方法は次の通りである（表1を参照）。

表 1 授業内の聴力と発音のトレーニング

順番	項目	所要時間	内容
1	本文を聴く	5分	本文を見ずに2~3回全体を聴く。
2	再述	20分	一文を聴いてから一文を再述させ、一人では完全に再述できない場合は、複数の学生に分担して再述させる。
3	説明	10分	教師は難解な単語や文法ポイントを簡潔に説明する。
4	シャドウイング	5分	学生に教科書を見ながらCD(教材の音声)と一緒に本文を読ませ、理解しにくい部分に特に注意を払わせる。
5	発音指導	15分	学生に本文を順番に朗読させ、発音指導を行う。
6	通訳練習	5分	本文を使用して通訳の練習を行い、教師が日本語で話すと、学生はすぐに中国語で答えるようにする。
7	発表	5分	時間が許す限り、2人1組で本文を感情を込めて朗読し、または暗唱して発表を行う。

授業後の宿題は、リスニングと朗読の2つで構成されている。期末には、二年生のすべての学生に中国語で自己紹介文を作成させ、これを暗唱させ録画して提出させた。具体的な内容は以下の通りである(表2を参照)。

表 2 授業後の聴力と発音の宿題

順番	項目	内容
1	リスニング宿題	授業内で学んだ文と文法ポイントに基づいて、3つの文を録音し、学生にそれらの文を聞き取って答えを書いて提出させる。
2	朗読宿題	CD(教材の音声)に従って授業内で学んだ本文を反復して朗読し、その朗読音声を提出させる。
3	自己紹介のビデオ	期末には、2年生に自己紹介文を作成させ、それを暗唱したビデオを提出させる。

上記のように、聴力のトレーニングにおいて、筆者は事前に単語を予習させた後、授業内でのリスニング練習やシャドウイング練習を実施し、そして宿題としてリスニング課題を設定した。多くの学者も、短文のリスニング、聞き取り、およびシャドウイングの練習を通じて、聴力のトレーニングを行い、良好な効果を上げている。例えば、須山哲治(2010)は単語の予習とリスニング練習を組み合わせたトレーニング方法を用いて、良好な成果を挙げた。また、聞き取りとシャドウイングは聴力のトレーニングの効果的な方法である。中村俊弘(2003)は、翻訳トレーニングを参考にし、聞き取りとシャドウイングの重要性を強調し

ている。彼の研究は中国語専攻学生を対象にしているが、その基本的な原則は外国語としての中国語の聴力教育にも適用でき、参考になると考えられる。さらに、竹中佐英子（2017）は聞き取り練習を通じて学生の聴力のトレーニングを行い、聴写試験の回答状況を分析し、日本人の中国語聴力の難易度とその原因を調査した。また、藤田由香利（2015）は、学生の聴力の向上を目指して、翻訳トレーニング、シャドウイング法、および即座の反応トレーニングを組み合わせた方法を試みた。

発音のトレーニングでは、筆者は授業内でのシャドウイングや発音指導に加えて、授業外で学生に本文を反復して朗読し、その朗読音声を提出させた。衛藤安奈（2019）は、学生にテキストを繰り返し朗読させ、発音トレーニングを行った結果、2つの課題が浮かび上がったと述べている。第一に、20～30人の学生による連続した発音トレーニングは体力を必要とし、毎回の授業での朗読テストは理想的ではあるが、学生の発音状況を毎回記録することは教師の負担を大幅に増加させることになる。第二に、30人規模のクラスでの朗読テストはかなり時間を要する傾向がある。筆者は、授業内での発音指導に加えて、授業後に学生に自分の最も満足のいく朗読音声を提出する宿題を設定し、教師が学生の朗読状況を段階的に確認できるようにした。これにより、体力の問題が解決し、記録と朗読テストの時間を節約でき、教師の負担も適度に軽減され、上記の2つの課題が基本的に解決されたと言える。

3. 聴力と発音のトレーニングの効果

1年間にわたる、授業内での本文のリスニングや通訳の練習、および授業外でのリスニングと朗読の宿題の組み合わせによるトレーニング方法により、多くの学生が次第に中国語を聞き取ることができ、中国語を話す自信を持つようになり、朗読がスムーズになり、話す中国語も基本的に他の人に理解されるようになった。

以下は、3人の学生の朗読または暗唱の録音内容と発音の変化に関する記録である。

3.1 学生 A の朗読の変化の状況

まず、学生 A（一年生、女性）の2回の朗読録音の内容と朗読エラーの比較表（表3を参照）を見てみよう。

学生 A 第1回朗読録音（2021年5月）の内容

藤田：你看，那是我们班的汉语老师。

程成：她姓什么？

藤田：姓张，不对，她姓赵。

程成：中国人姓张、姓赵的都很多。

藤田：你的姓不太多吧？

程成：我不知道，可能也不少。

【藤田：ほら、あれは私たちのクラスの中国語の先生です。

程成：彼女の名前（苗字）は何ですか。

藤田：張です、いや、違う、趙です。

程成：中国人の中には、苗字が張や趙の人が多いですね。

藤田：あなたの苗字はあまり多くないですか。

程成：わかりませんが、おそらくそれほど少なくはないでしょう。】

（《いつでも中国語 1 — 随时随地学汉语 —》第 2 課対話 2 の本文）

学生 A 第 2 回朗読録音（2021 年 11 月）の内容

藤 田：我的英语发音总是有问题。

王丹樱：你应该多听，多说，多练习。

藤 田：明天有口语小测验，就是这篇短文。

王丹樱：不要紧张，多听几遍录音。

藤 田：英语老师很厉害，我得好好地准备准备。

王丹樱：加油，一定没问题！

【藤 田：私の英語の発音はいつも問題があります。

王丹樱：もっと聞いたり、話したり、練習したりすべきです。

藤 田：明日は口頭の小テストがあります。この文章です。

王丹樱：緊張しないで、録音を何度も聞いてみてください。

藤 田：英語の先生はとても厳しいです。しっかりと準備しなければ。

王丹樱：頑張って、絶対に大丈夫ですよ！】

（《いつでも中国語 1 — 随时随地学汉语 —》第 8 課対話 2 の本文）

学生 A の朗読エラーの比較表（表 3 を参照）からわかるように、2021 年 5 月の朗読では、声調がほぼすべて誤っており、子音の発音にもいくつかの問題があった。半年後、子音の発音は正確になり、第 1 声と第 2 声の声調も改善された。しかし、第 3 声、特に第 4 声の発音にはまだ問題が残っている。さらに、厳密に言えば、「多」の母音の中の「u」の発音もまだ完璧ではないようである。

このような改善の兆候はあるものの、引き続き声調と発音のトレーニングを続けることが重要であることが示唆されている。特に声調の正確な習得は、中国語の発音において重要な要素の一つである。学生 A に対して、継続的なサポートと練習を提供することが、彼女の発音スキルを向上させるのに役立つのであろう。

表3 学生Aの2回の朗読録音の発音エラー比較表

時間	子音の朗読エラー	母音の朗読エラー	声調の朗読エラー
2021年5月	sh (是) x (姓) zh (张, 知道)	無し	ほとんど全てが間違っている
2021年11月	無し	u (多)	jiùshì, shì (就是, 是) kǒu (口语) duǎn (短文) lù (录音)

3.2 学生Bの朗読の変化の状況

学生B(一年生、男性)の3回の朗読録音の内容と朗読エラーの比較表(表4を参照)を見てみよう。

学生B 第1回朗読録音(2021年6月)の内容

藤 田: 您还要别的吗?

中国客人: 我还想买几张明信片。

藤 田: 有, 在这儿, 您看, 都很可爱。

中国客人: 有没有人民币5块钱以下的?

藤 田: 明信片都是80日元一张。

中国客人: 那好, 今天先买这些。

【藤 田: 他に何かお求めですか。

お客様: いくつかのハガキを買いたいです。

藤 田: はい, こちらにあります。ご覧ください、どれも可愛らしいですよ。

お客様: 人民币5元以下のものがありますか。

藤 田: ハガキはすべて1枚80円です。

お客様: それでは、今日はこれだけ買います。】

(《いつでも中国語1—随时随地学汉语—》第5課対話2の本文)

学生B 第2回朗読録音(2021年12月)の内容

藤 田: 到了, 从这儿进去, 到9号站台。

中国人A: 好的, 好的。让您受累了!

中国人B: 谢谢您带我们过来!

藤 田: 没什么, 你们太客气了。再见!

中国人B: 幸亏遇到了他, 要不又走错了。

中国人A：要开车了，你快坐下来吧。

【藤 田：着きました。ここから入って、9番ホームに進んでください。

中国人A：分かりました。お疲れ様でした！

中国人B：ここまで案内してくださってありがとう。

藤 田：いいえ、気にしないでください。さようなら！

中国人B：彼に出会えて本当によかった。さもないと、また迷子になるところでした。

中国人A：もうすぐ発車しますよ。早く座ってください。】

(《いつでも中国語1—随时随地学汉语—》第10課対話2の本文)

学生B 第3回朗読録音(2022年5月)の内容

程 成：你们觉得今天的戏怎么样？

藤 田：我觉得很有意思。今天的戏跟你们以前看的一样吗？

王丹樱：有的地方跟我以前看的不一样。

藤 田：哪个更好？

王丹樱：今天的戏比以前的好。真谢谢你的京剧票！

程 成：是啊，京剧票比电影票贵多了。

【程 成：今日の舞台、どうだったと思いますか。

藤 田：面白かったと思います。今日の舞台は、以前に見たものと同じでしたか。

王丹樱：いくつかの部分は、以前に見たものとは違いました。

藤 田：どちらが良かったと思いますか。

王丹樱：今日の舞台の方が以前のよりも良かったです。本当に京剧のチケットをくれて
ありがとう！

程 成：そうですね。京剧のチケットは映画のチケットよりもずっと高いですから。】

(《いつでも中国語2—随时随地学汉语—》第2課対話2の本文)

表4の学生Bの朗読エラーの対比表からは、母音のエラーが比較的目立っており、第4声の声調もうまく把握できていないことがわかる。しかし、半年後になると、母音のエラーは基本的に修正され、第4声の声調のエラーも減少した。2022年5月の朗読状況を見ると、「不」の子音「b」の発音と「以前」の声調の一部を除いて、他の部分は基本的に正確である。また、録音からも朗読が非常に流暢であることが確認できる。

この学生の改善は非常に印象的であり、声調と発音の向上に対する彼の取り組みが報われたことを示している。継続的な練習とサポートが今後も役立つであろうが、その努力と成果を称賛すべきである。

表4 学生Bの3回の朗読録音の発音エラー比較表

時間	子音の朗読エラー	母音の朗読エラー	声調の朗読エラー
2021年6月	r (人民币)	ao (要) ing (明信片) u (五块钱) ian (先) e (这) ie (些)	piàn (明信片) kàn (看) ài (可爱) yì (一张)
2021年12月	d (到) z (走)	無し	yù (遇到)
2022年5月	b (不)	無し	yǐqián (以前)

3.3 学生Cの朗読の変化の状況

学生C(2年生、女性)の2回の朗読録音と期末に提出した自己紹介ビデオの音声の内容、および発音の変化の比較表(表5を参照)を確認してみよう。

学生C 第1回朗読録音(2021年4月)の内容

- (1) 这台电脑有点儿贵。
- (2) 他家有点儿远。
- (3) 今天有点儿热。

【(1) このコンピュータは少し高いです。

- (2) 彼の家は少し遠いです。
- (3) 今日は少し暑いです。】

(《いつでも中国語2—随时随地学汉语—》第3課対話2の練習問題の一部)

学生C 第2回朗読録音(2021年11月)の内容

藤田: 中国的旗袍种类真丰富啊!

杰克: 是啊, 哪件都很漂亮。

藤田: 你看这件怎么样?

杰克: 样式不错, 很文雅, 不过颜色太暗了吧?

藤田: 我姐姐比较喜欢素一点儿的。

杰克: 我觉得那件红的好看, 显得年轻。

藤田: 好看是好看, 不过红的穿的机会不多。

杰克: 新年快到了, 红的正合适。

藤田: 那倒是。圣诞节也可以穿。

杰克：日本也过圣诞节吗？

藤田：日本人也吃蛋糕，互相送礼物，不过可能没有美国那么热闹。

杰克：北京也这么有圣诞气氛，真没想到！

【藤田：中国のチャイナドレスの種類は本当に豊富ですね！

杰克：そうですね、どれも素敵です。

藤田：この一着、どう思いますか。

杰克：デザインは良いですが、色が暗いように思いますね。

藤田：私の姉は地味なものが好きです。

杰克：私は赤いのが綺麗で、若々しく見えると思います。

藤田：確かに素敵ですが、赤いのはあまり着る機会がありません。

杰克：新年が近づいていますし、赤いのはぴったりですね。

藤田：その通りです。クリスマスにも着ることができます。

杰克：日本でもクリスマスを祝いますか。

藤田：日本でもケーキを食べたり、プレゼントを交換したりしますが、おそらくアメリカほど盛大ではないでしょう。

杰克：北京でもこんなにクリスマスの雰囲気があるなんて、驚きです。】

（《いつでも中国語 2 — 随时随地学汉语 —》第 9 課対話の本文）

学生 C 自己紹介ビデオ（2022 年 1 月）の内容

大家好！我叫〇〇〇〇。我是日本人。我是〇〇〇〇大学二年级的学生。我今年 21 岁。我有一个妹妹，我家有四口人。我喜欢看电影，我喜欢看中国电影《白蛇传》。我也喜欢做饭。我学了两年汉语了。不过我汉语说得不太好。我觉得汉语很难，可是我喜欢学习汉语。我还没去过中国，我想去中国留学。认识你们很高兴，今后请多关照！

【みなさん、こんにちは！私は〇〇〇〇と申します。日本人で、〇〇〇〇大学の 2 年生です。今年で 21 歳になりました。妹が 1 人います。家族は 4 人です。私は映画鑑賞が好きで、特に中国の映画「白蛇伝」がお気に入りです。また、料理も好きです。中国語を 2 年間学んでいますが、まだ上手く話せません。中国語は難しいと感じますが、学ぶことが楽しいです。まだ中国に行ったことがありませんが、将来的には中国で留学したいと考えています。皆さんと知り合えて嬉しいです。今後ともよろしくお祈いします！】

表 5 に示されている通り、学生 C は最初は全体的に多くの誤りがあり、特に「点儿」という言葉の発音において目立つ問題があった。しかし、半年後には、「点儿」と「热」という言葉の発音は正確になり、子音と声調も明らかに改善された。期末に提出された自己紹介の暗唱ビデオでは、子音の発音エラーと第 3 声以外の声調エラーがなくなったことが確認されたが、第 3 声の声調エラーはまだ残っている。また、ビデオからは話す速度が自然になり、流

暢さも向上し、他の人が理解しやすくなったが明白である。このような進歩は、学生 C の継続的な努力とトレーニングの成果であり、今後も練習とサポートを継続して提供することが重要であると言える。

表 5 学生 C の 2 回の朗読録音と自己紹介ビデオの発音エラー比較表

時間	子音の朗読エラー	母音の朗読エラー	声調の朗読エラー
2021 年 4 月	t (台) j (家, 简单)	ianr (点儿) e (热)	shū (书) yuǎn (远) tiān (今天)
2021 年 11 月	無し	eng (丰) en (人) u (物)	tài (太)
2022 年 1 月 (暗唱)	無し	ü (去)	yǒu (有) liǎng (两) hěn (很) kě (可是) xǐ (喜欢) xiǎng (想)

上記の 3 人の学生の事例から、学生の子音、母音、声調の発音が明らかに改善されていることが分かる。録音からも、学生たちの朗読速度とリズムが自然になり、朗読も流暢になったことが確認できる。これは、継続的なトレーニングと努力の成果を示している。声調と発音の向上は、外国語の学習において重要な一歩であり、これからも継続的な練習とサポートが彼らのスキル向上に貢献することであろう。

4. アンケート調査に対する分析と反省

一年の学習が終了した後、195 人の学生に対して匿名のアンケート調査をインターネットを通じて実施した。合計 111 件の回答を収集し、回収率は 57% であった。アンケートの内容は以下の通りである (表 6 を参照)。

表 6 アンケート調査の内容

1. あなたは中国語の授業にどれぐらい取り組みましたか。 ①真面目に ②比較的真面目に ③あまり真面目ではない
2. 本文を繰り返して聴くことにより、自分の聴解力が向上したと思いますか。 ①向上した ②少し向上した ③向上しなかった
3. CD (教材の音声) を聴きながら本文を朗読することで、自分の発音が改善されたと感じましたか。 ①改善された ②少し改善された ③改善されなかった
4. 本文を朗読する練習を通じて、中国語を話すことに自信を持つようになりましたか。 ①自信を持つようになった ②少し自信を持つようになった ③まだ自信を持っていない
5. どの順番が授業に最適だと思いますか。 ① 単語⇒文法⇒本文⇒練習 ② 単語 (予習) ⇒本文 (リスニング練習) ⇒文法⇒練習 ③ 単語⇒文法⇒練習⇒本文
6. 中国語の授業についてどのような感想や提案がありますか。

第1の質問「あなたは中国語の授業にどれぐらい取り組みましたか」に対して、55%の学生が授業に真剣に取り組んでおり、44%が比較的真剣に取り組んでいると回答し、1%の学生が真剣に取り組んでいないと回答した(図1を参照)。これは、学生が基本的に中国語の授業に真剣に参加しており、このアンケート調査の結果は一定の参考価値があると言えよう。

第2の質問「本文を繰り返して聴くことにより、自分の聴解力が向上したと思いますか」に関して、35%の学生が、本文を聴いて本文を繰り返すことでリスニング能力が向上したと感じており、55%の学生が少し向上したと感じている(図2を参照)。また、質問6の自由回答の結果からは、学生のリスニング能力の向上が実感できると示唆されている。一部の学生がショッピングモールや電車での中国語の放送を一部理解できるようになったり、中国のテレビドラマの単語や表現方法を理解できるようになり、中国語の学習に興味が増したと回答している。

授業で本文を使用したリスニング練習は効果があるようであるが、10%の学生がリスニング能力が向上しなかったと回答している。その原因として、1つは本文を使用したリスニング練習が学生にとってあまり魅力的でない可能性が考えられる。そのため、学生が興味を持つ他のトレーニング資料を導入し、本文を使用した精密な聴力トレーニングと短編の童話やアニメーションを使用した広範な聴力トレーニング方法を試す必要があると考えられる。2つ目の原因は、教師が学生に対して集中力を高める方法を提供し、授業への積極性を促進することも重要である。

1. あなたは中国語の授業にどれぐらい取り組みましたか。

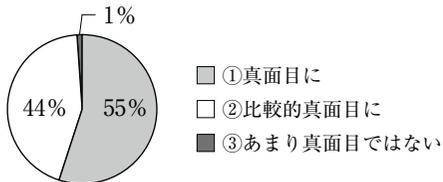


図1 アンケート調査の質問1の回答結果

2. 本文を繰り返して聴くことにより、自分の聴解力が向上したと思いますか。

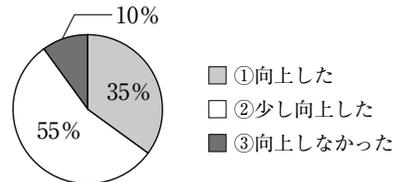


図2 アンケート調査の質問2の回答結果

第3の質問「CD（教材の音声）を聴きながら本文を朗読することで、自分の発音が改善されたと感じましたか」に関して、37%の学生が、CD（教材の音声）を聴いて課文を反復して朗読することで発音が改善したと感じており、59%の学生がわずかに改善したと感じ、わずか4%の学生が改善していないと感じている（図3を参照）。発音の練習と発音の改善に効果的な方法であることがわかり、良好な発音は会話の練習の基盤となることが示唆されている。

第4の質問「本文を朗読する練習を通じて、中国語を話すことに自信を持つようになりましたか」に関して、20%の学生が、課題の朗読練習を通じて、中国語を話す自信を持つようになったと感じており、63%の学生がわずかに自信を持っているが、17%の学生がまだ中国語を話す自信がないと感じている（図4を参照）。学生が中国語を積極的に話すためには、授業での会話内容を日常生活に密接に関連させるだけでなく、学生が授業で積極的に中国語を話す機会を増やす必要があるようである。

3. CD（教材の音声）を聴きながら本文を朗読することで、自分の発音が改善されたと感じましたか。

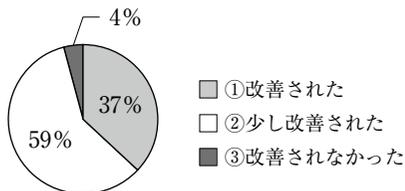


図3 アンケート調査の質問3の回答結果

4. 本文を朗読する練習を通じて、中国語を話すことに自信を持つようになりましたか。

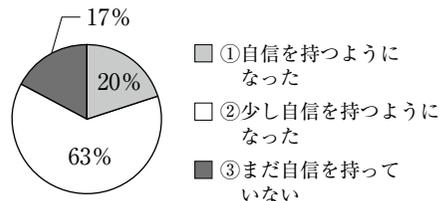


図4 アンケート調査の質問4の回答結果

第5の質問「どの順番が授業に最適だと思いますか」を設計した理由は、筆者が新しい教育モデルを試しているからである。郭春貴（2008）の意見に賛同し、限られた2外中国語教

育の時間内で、聴力と発音の練習に重点を置き、会話の練習を徹底し、文法の説明は簡潔に行っている。さらに、本文を聴くときに新しい文法に遭遇した際に、最低限の説明だけを行い、本文を学んだ後に改めて文法を説明する方法を採用している。しかし、70%の学生が従来の学習順序を支持し、23%の学生が本文を聴いてから文法を学ぶ方法を試してみたいと考えていることが分かった(図5を参照)。筆者は現在、一部のクラスで本文を聴いた後に文法を学ぶ順序を試しており、具体的な状況は今後報告する。

5. どの順番が授業に最適だと思いますか。

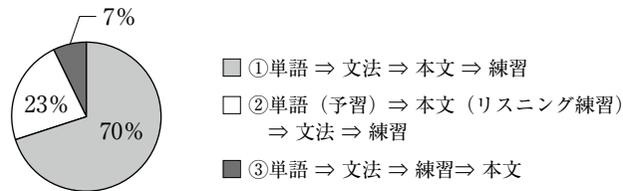


図5 アンケート調査の質問5の回答結果

第6の質問「中国語の授業についてどのような感想や提案がありますか」という自由回答の結果によれば、リスニングに関しては、一部の学生が商店や電車での中国語放送を理解できるようになり、また中国のテレビドラマの単語や表現方法を理解することで、中国語の学習に対する興味が高まったと回答している。これは、授業で本文を使用したリスニング練習が効果的であることを示唆している。

発音に関しては、多くの学生が授業での発音指導と個人的な練習が必要であり、それが効果的であると回答している。単語がスムーズに発音できるようになったり、練習した文を時間がたってもしっかりと覚えているという回答がある。さらに、CD(教材の音声)を使った本文のリスニング練習を通じて発音の精度が向上し、リスニング能力も向上したという回答もある。

会話に関しては、一部の学生は教科書の内容を話すことができるようになったが、自分が表現したい内容を即座に話すことができないと回答している。これは、会話の内容が教科書から離れると、学生がまだ自分から発言することが難しいことを示唆している。

以上の結果から、授業での聴力と発音練習が効果的であることが示されており、会話のスキルを向上させるためには実際の会話機会が必要であることがわかる。

5. おわりに

本稿は、日本人の中国語学習者が漢字で内容を理解しやすいため、聴力と発音のトレーニングが疎かにされる傾向に焦点を当て、時間が制約される大学の2外中国語授業において、聴力と発音の同時に強化するトレーニング方法を提案している。教材の本文を活用し、1年

間にわたり約 200 人の学生に、授業内と授業後にトレーニングを行った。アンケート調査の結果から、この教材の本文を活用した聴力と発音のトレーニング方法は実行可能であり、リスニングスキルの向上と発音の改善、中国語を話す自信の向上に役立つことが示された。

一方で、筆者は聴力と発音の練習に重点を置いた結果、学習者の実際の会話経験も非常に重要であることを再認識した。今後は、会話の実践練習を増やすために、通訳の練習や日常生活に基づいた作文や会話のトレーニングなど、具体的な方法を検討し、学生の会話スキルを向上させる取り組みを進める予定である。また、学生の一部は自己紹介の暗唱が特に効果的だったと感じたため、暗唱の練習や教材の本文の暗記を増やす提案もある。学生の負担を考慮しつつ、練習の要求を高め、暗唱の練習を増やすことも検討する予定である。このように、聴力と発音の練習に加えて、実際の会話経験を増やす取り組みを強化することで、学生の中国語学習をより効果的にサポートする方法を今後の課題として考えている。

謝辞 本稿は中国語教育学会第 20 回全国大会における口頭発表に基づいて作成したものである。学会では大変有益な質問とコメントをいただき、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 衛藤安奈 2019. 初級中国語クラスの教育現場における発音指導の試み：反復練習の実施法と効能、およびその限界に対する幾つかの対処法について、『慶應義塾外国語教育研究』16：51-71 頁
- 藤田由香利 2015. 通訳訓練法を用いた中国語のリスニング力向上のための一考察：シャドウイングとクイック・レスポンスの導入、『杏林大学外国語学部紀要』27：155-170 頁
- 中村俊弘 2003. 聞き取りを中心とした授業展開の提案——通訳訓練を視野に入れて——、『関西大学外国語教育フォーラム』2：121-127 頁
- 大島吉郎 2021. 学習成果の可視化に関する試案 (1) —— 中国語初級段階における発音習得を中心に ——、『大東文化大学紀要』人文科学 59：193-208 頁
- 杉本美穂・水田佳歩・奥村恵子 2017. スマホ音声認識アプリを用いた自律発音練習 —— 自己課題発見から自律練習への試み ——、『早稲田日本語教育実践研究』5：187-188 頁
- 須山哲治 2010. 中国語のリスニング教授法について：大規模教室への導入の観点から、早稲田大学教育総合研究所『早稲田教育評論』24 (1)：1-22 頁
- 竹中佐英子 2017. 経済学部の中国語教育に関する一考察 (六) —— 中国語リスニングを中心に ——、東洋大学『経済論集』42 (2)：219-232 頁
- 呉劍明・楊達・浦野義頼 2003. リスニングを中心としたウェブ版中国語学習システムの開発、『日本教育工学雑誌』(特集) 第二言語学習とその支援に関する教育工学研究 27 (3)：295-304 頁
- 丁雷 2017. 谈谈对日本 2 外汉语学习者“声调难”问题的认识、『島根大学外国語教育センタージャーナル』12：75-87 頁
- 杜英起・董梅香・張佳妮・何龍 2017. 有关日本大学听力教学的探索、『愛知淑徳大学論集——交流文化学部篇——』7：1-7 頁
- 郭春貴 2008. 日本の大学二外汉语課程の教學模式探討、『中国語教育』6：19-33 頁
- 郭春貴 2012. 论日本大学公共汉语课的语音教学、《第 10 届国际汉语教学研讨会论文集》：367-372 頁。北京：万卷出版公司。
- 郭春貴 2014. 1 周 2 节课的 2 外汉语教學模式探討—以广島修道大学为例、『中国語教育』12：1-11 頁
- 海月 2022. 浅谈中国大学生英语口语发音对听力的影响—以昆明理工大学津桥学院为例、『校园英语』2022 年 02 期：20-22 頁
- 何龍 2019. 关于汉语听力教育中的词汇教育：词汇教授的集中新尝试、『愛知淑徳大学大学院論文集——グローバルカルチャ・コミュニケーション研究科——』11：91-100 頁

- 何龙 2020. 浅析汉语“视听说”教材的编纂——以日本大学视听说”为例、『愛知淑徳大学大学院論文集——グローバルカルチャ・コミュニケーション研究科——』12: 67-74 頁
- 李晨 2021. 唱歌学中文的教学设计与应用——以日本初级汉语学习者为例、北京外国语大学 2021 年硕士论文
- 刘铁虹 2019. 论大学英语教学中语音能力与听力理解的关系、《智库时代》2019 年 2 月: 172、177 页
- 王寒松 2018. 对日汉语教学初级阶段教学策略思考、新潟県立大学『国際地域研究論集 (JISRD)』9: 63-72 頁

(えん ゆ 教育推進機構 基礎・教養科 非常勤講師)

文部省職業教育課と『産業教育』誌(15)

丸 山 剛 史
尾 高 進

Vocational Education Section in Ministry of Education, Science and Culture and the Journal “Industrial Education” (15)

MARUYAMA Tsuyoshi, ODAKA Susumu

[13]

本稿は、前報につづき、文部省（現・文部科学省）技術・職業教育行政研究の基礎調査報告として同省初等中等教育局職業教育課所属専門職事務官および教科調査官の著作・論文刊行状況に関して若干の特徴を明らかにすることを目的としている¹。取り上げる専門職および教科調査官は既報掲載の「表 職業教育課在籍専門職・教科調査官」にもとづくこととし、表に掲載された順に取り上げて検討する。本稿では中沢宣道を取り上げる。

中沢の経歴に関しては、あまり知られていない。文部省在職前後を『官報』、『運輸公報』で調べてみると、下記のように、運輸教官、運輸技官を務めており、運輸省の専門職員であったと考えられる。

- 1949年11月30日 運輸教官・中沢宣道、商船大学海務学院助教授に任じられる。
- 1950年2月17日 運輸技官兼任。
- 1951年7月16日 運輸技官・中沢宣道、文部省へ出向。
文部事務官となり、初等中等教育局中等教育課に配属。
- 1957年7月1日 運輸技官・船舶局教育課に転任。
運輸教官・海技専門学院東京分室長を併任。

中沢の運輸省転任と入れ替わるように、金子久彌が文部省に出向しており、金子は中沢の後任であったと考えられる。

『官界通信』誌（第 901 号）によると、中沢は、「シーマン系の中堅人材で将来が嘱望されている一人」とされる²。

中沢が文部省入省前に勤めていた、東京商船大学海務学院とは、「海運業界多年の熱烈なる要望に応えて、高等商船学校出身者で海上実歴 3 ヶ年又はこれと同等以上の学力経験を有するものに対して、更に高度の専門的教育を施し将来海運界の棟幹となる人材を育成し、且つ船舶運航に関する学術研究を行う機関」とされる。当初は単独で 1945 年 4 月に設置されたが、1949 年に東京商船大学に包括された。東京商船大学商船専攻科設置に伴い、1963 年 3 月に廃止された²。中沢は商船教育に関する高等教育機関での教職歴をもつ人物であった。

中沢が文部省へ出向となった時期には、運輸省から文部省に移管された国立商船学校が国立商船高等学校へと改められていた。富山・鳥羽・広島・大島・弓削の商船学校は新学制発足により商船高等学校と改められることになり、1950 年に国立商船高等学校となった。1951 年 4 月からは運輸省から文部省に移管され、「文部省の直轄学校」となったとされる⁴。

このように、中沢は国立商船高等学校発足に伴い、運輸省管轄の教育機関から文部省初等中等教育局へ転勤し、中等教育段階の商船教育行政に従事した人物であったと考えられる。著作・論文は少なく、確認できたものは以下のとおり。

中沢宣道 著作目録（未定稿）

1954 年

5 月, 「船とアロハ」『産業教育』第 4 巻第 5 号, p. 18

10 月, 「電波・商船高校の紹介」『中等教育資料』第 3 巻第 9 号, pp. 19-21

1956 年

3 月, 「商船高等学校の紹介」『産業教育』第 6 巻第 2 号, pp. 48-51

8 月, 「電波高等学校の紹介」『産業教育』第 6 巻第 7 号, pp. 26-28

1957 年

5 月, 「商船高等学校の船舶実習」『産業教育』第 7 巻第 5 号, pp. 36-37

11 月, 「商船・電波教育の現状と問題点」『産業教育』第 7 巻第 11 号, pp. 19-24

1960 年

6 月, 「船舶職員法」運輸省海事法規研究会『海事法規の解説』成山堂書店, pp. 121-135

1963 年

2 月, 「船舶職員制度」『運輸』第 13 巻第 2 号, pp. 20-23

1972年

3月, 「技術革新と船員教育の動向」『海上労働』第24巻第3・4号, pp.48-50

1985年

6月, 「巻頭言」『人と船』第43号, pp.2-3

(注)

- 1 丸山剛史・尾高進「文部省職業教育課と『産業教育』誌 (1) - (14)」『工学院大学研究論叢』第53-2号 (2016年) - 第59-1号 (2022年) につづくものである。
- 2 『官界通信』第901号、1968年、10-11ページ。
- 3 東京商船大学『東京商船大学海務学院略史』(1963年)、1-3ページ。
- 4 文部省『産業教育九十年史』東洋館出版社、1974年、444ページ。

『産業教育』誌目次集 (15) : 1989-1991 年

- ・本目次集は、宇都宮大学附属図書館所蔵の『産業教育』誌の内容を確認しながら作成した。同館欠号分に関しては、編者が所蔵機関に出向き、目次及び誌面を確認し作成した。
- ・所蔵機関名を巻号・発行年月右横のカッコ内に記した。
- ・執筆者名右横のカッコ内の数字はページ数を表す。

第 39 巻第 12 号 : 1989 年 11 月 1 日 (国立国会図書館
デジタルコレクション)

はじめに 福島忠彦 (3)

- I. 高等学校学習指導要領の改善について
高等学校学習指導要領の改善について
..... 尾山眞之助 (8)
- 「家庭」の改善について 河野公子 (21)
- 「農業」の改善について 角田順三 (27)
- 「工業」の改善について 岩本宗治 (33)
- 「商業」の改善について 岡田修二 (39)
- 「水産」の改善について 中谷三男 (45)
- 「看護」の改善について 小田切希伊子 (51)
- 進路指導の改善について 鹿嶋研之助 (55)

II. 高等学校学習指導要領の新旧対照表
高等学校の教科・科目新旧対照表 (68)

III. 高等学校学習指導要領の改善の要点
総則 (82)

職業に関する教科・科目 (87)

進路指導 (93)

IV. 高等学校学習指導要領 (全文)
学校教育法施行規則 (抄録) (98)

第 1 章 総則 (100)

第 2 章 各教科 (111)

(節は省略: 編者)

第 3 章 特別活動 (309)

第 39 巻第 13 号 : 1989 年 12 月 1 日 (宇都宮大学附属
図書館)

人 柳田仁先生 岡田 稔 (2)

巻頭特集 職業教育と継続教育
高等学校職業教育と継続教育の意義
..... 鈴木寿雄 (3)

愛知県における職業教育と継続教育の現状
..... 吉田 武 (7)

デザイン教育と継続教育 稲田春政 (11)

新学習指導要領解説シリーズ (9)
造園関係科目について 上松信義 (15)

材料技術科関係科目について 山崎好雄 (21)

セラミック科関係科目について 河村俊郎 (25)

「英語実務」「国際経済」について 岡田修二 (29)

「水産情報処理」「水産情報技術」について
..... 橋本 勝 (35)

食物科に関する科目について 西村弘子 (40)

進路指導の改善の要点—その 2... 鹿嶋研之助 (46)

ずいそう ある都市の復興—故郷への回帰
..... 山崎賢三 (52)

産業界の動向 医療情報システム開発の動向
..... 大島正光 (54)

がんばってます 私たちのボランティア活動
..... 竹田昌代 (58)

職業高校見聞録 第 9 回 (秋田県)
秋田県立秋田工業高等学校 (60)

都道府県産業教育だより (福岡県)
福岡県立高等学校における今後の職業教育の在り方
について 尾崎春樹 (62)

職業教育課だより
平成元年度進路指導担当指導主事研究協議会報告
その他 (66)

第 40 巻第 1 号 : 1990 年 1 月 1 日 (宇都宮大学附属図
書館)

年頭の所感 石橋一弥 (2)

人 小川幸男先生 岩本 洋 (5)

巻頭特集 情報処理技術者の育成
我が国における情報技術者の育成
..... 森口繁一 (6)

青森県における情報技術教育の推進
..... 穂元弘道 (10)

本校における情報処理教育の実践
..... 鈴木睦美 (14)

新学習指導要領解説シリーズ
新設「食品加工」と食品科学科関係科目について
..... 小野幸夫 (18)

繊維科関係科目について 佐藤弘幸 (24)

インテリア科関係科目について 藤城幹夫 (28)

「工業簿記」「会計」「税務会計」について
..... 岡田修二 (32)

「水産経済」「水産食品流通」について
..... 勝木 茂 (38)

保育科に関する科目について 太田正子 (44)

ずいそう 宵の明星 福田百合子 (50)

産業界の動向 工作機械メーカーの現状と自海外進出
..... 山田 勉 (52)

がんばってます プロジェクト学習の成果

..... 井手正彦 (56) 松本凱行 (11)
職業高校見聞録 第10回 (兵庫県)	新学習指導要領解説シリーズ (12)
福祉の心を育てる—兵庫県立新宮高等学校…… (58)	「農業経営」について …… 角田順三 (16)
諸外国の職業教育 アメリカにおける職業教育の特徴	「測量」について …… 角田稲良 (19)
..... 大橋信定 (60)	工業に関する学科の教育課程の編成について
職業教育課だより 岩本宗治 (22)
平成2年3月高等学校卒業予定者の就職内定状況、	「情報管理」「経営情報」について …… 岡田修二 (26)
その他 …… (64)	「水産一般」について …… 中谷三男 (30)
	教育課程の編成について …… 河野公子 (35)
第40巻第2号：1990年2月1日 (宇都宮大学附属図書館)	ずいそう 自我作古 …… 阿部昭生 (39)
人 長村治先生 …… 片本圭介 (2)	産業界の動向 平成元年 (上期)における雇用労働の
巻頭特集 社会の変化と教員研修	移動状況等について …… 吾妻フク (41)
教員の資質能力の向上を図るための研修事業	がんばってます 「せんせい、あのね…」平成元年度
..... 尾山眞之助 (3)	全国高等学校プログラミングコンテスト優秀賞獲得
宮崎県における教員研修への取組み 堤 忍 (45)
..... 鳥取部誠 (8)	職業高校見聞録 第12回 (千葉県)
情報処理教育担当教員養成講座専門コースにおける	千葉県立若葉看護高等学校 …… (47)
成果とその活用 …… 井上恵介 (12)	都道府県産業教育だより—沖縄県
新学習指導要領解説シリーズ (11)	時代の進展に対応する本県高等学校における職業教育
農業土木科関係科目について …… 小林俊徳 (16)	の在り方について …… 山城清次郎 (49)
デザイン科関係科目について …… 日野永一 (23)	職業教育課だより
「文書処理」「プログラミング」について	平成2年3月高等学校卒業予定者の就職内定、その他
..... 岡田修二 (32) (53)
「航海・計器」「漁船運用」について	
..... 間山郁三 (31)	第40巻第4号：1990年4月1日 (宇都宮大学附属図書館)
「指導計画の作成と内容の取扱い」について	ひと 清水康敬先生 …… 永田和宏 (2)
..... 河野公子 (37)	巻頭特集 時代の進展に対応した職業教育 …… (1)
ずいそう 進路指導雑感 …… 野田和之 (41)	バイオテクノロジーの進展と農業教育
産業界の動向 農業経営におけるコンピュータ利用の 山口彦之 (3)
動向 …… 木本隆男 (43)	新しい職業教育 …… 唐津 一 (7)
がんばってます 全国高校生デザインコンクール 文	栽培漁業における新技術 …… 渡辺 武 (11)
部大臣賞を受賞 …… 石原 結 (47)	教育課程質疑応答シリーズ
職業高校見聞録 第11回 (静岡県)	農業 …… 角田順三 (15)
静岡県の職業高校を訪ねて …… (49)	工業 …… 岩本宗治 (18)
都道府県産業教育だより—秋田県	商業 …… 岡田修二 (21)
秋田県における進路指導研究 …… 高橋準一 (51)	水産 …… 中谷三男 (24)
職業教育課だより	家庭 …… 河野公子 (27)
平成元年度公立高等学校における中学生の体験入学	看護 …… 小田切希伊子 (30)
等の実施状況、その他 …… (55)	ずいそう 北のホタル …… 赤部仁利 (33)
第40巻第3号：1990年3月1日 (宇都宮大学附属図書館)	産業界の動向 ファッション、現在から未来へ 一期
人 増野純雄先生 …… 鯉川佳起 (2)	待される人材の育成— …… 平松 誠 (35)
巻頭特集 勤労体験学習の展開と課題	教科等実践シリーズ
勤労体験学習の現代的意義と課題 …… 新井郁男 (3)	新しい時代に対応した農業教育の展開
普通科における勤労体験学習の充実 岩本恭昌 (40)
..... 松村春雄 (7)	新科目「課題研究」の実践研究 …… 丸尾 壽 (46)
地域や学校の実態に応じた勤労体験学習の実践	豊かな心と個性を生かす教育課程 …… 伊藤勝巳 (52)
	がんばってます 高度情報化社会を支える通信ネット
	ワーケンジニアを目指して

- 米塚博志 (58)
- 職業高校見聞録 第 13 回(熊本県) 全国初の国際観
光科 (60)
- 都道府県産業教育だより—埼玉県
社会の変化に対応する本県公立高等学校職業教育改善
の現状と課題 荒井 桂 (62)
- 職業教育課だより
平成 2 年度産業教育振興関係国庫負担(補助)事業
の概要, その他 (66)
- 表紙デザイン 本多香織
- 第 40 巻第 5 号: 1990 年 5 月 1 日(宇都宮大学附属図
書館)
- ひと 市川重尚先生 高橋ヨシ子 (2)
- 巻頭特集 時代の進展に対応した職業教育 (2)
- 転機に立つ職業教育—自己教育力の育成
..... 河野重男 (3)
- 「課題研究」に失敗のすすめ 平井 聖 (7)
- 自己教育力を伸ばす指導方法の改善
..... 渡邊専一 (11)
- 教育課程質疑応答シリーズ
工業 岩本宗治 (15)
- 商業 岡田修二 (19)
- 水産 中谷三男 (23)
- ずいそう 工業技術教育は人を育てる
..... 加地正義 (27)
- 産業界の動向 ファインセラミックス製品の開発と普
及 浜野義光 (29)
- 教科等実践シリーズ
商業における「課題研究」について
..... 小島俊夫 (33)
- 時代の進展に対応した学科再編と教育課程の編成
..... 百武健次郎 (39)
- 衛生看護科における情報処理教育を推進するための
教育課程の編成と指導について 碓井ヤス子 (45)
- 環境美化活動、奉仕活動を中心とした勤労体験学習
の実践 富田宣男 (51)
- がんばってます 全国高校生ホームプロジェクトコン
クール最優秀賞受賞 阿部里美 (57)
- 職業高校見聞録 第 14 回(岡山県) 岡山県立勝岡田
高等学校 (59)
- 諸外国の職業教育 米国工業教育調査視察記(行政
訪問記) その I 小川幸男 (61)
- 職業教育課だより
水産高等学校の漁業実習船 3 隻が竣工 (65)
- 公立高等学校教育課程編成状況調査の結果の概要に
ついて, その他 (67)
- 第 40 巻第 6 号: 1990 年 6 月 1 日(宇都宮大学附属図
書館)
- ひと 石黒昭吾先生 小林俊徳 (2)
- 巻頭特集 個性を生かす職業教育 (2)
- 生徒の個性に応じた職業教育の必要性
..... 斎藤健次郎 (3)
- 個性化教育と教育課程の編成 亀井浩明 (7)
- 個性の伸長を図る指導方法の改善 篠田幸男 (11)
- 教育課程質疑応答シリーズ
農業 角田順三 (15)
- 家庭 河野公子 (19)
- 看護 小田切希伊子 (23)
- ずいそう 昨日の昨日のずうっと昨日から
..... 笈川達男 (26)
- 産業界の動向 最近における食生活の変化と水産物の
消費動向 石橋達雄 (28)
- 教科等実践シリーズ
新技術の導入を図る工業教育 小林謙三 (33)
- 水産におけるプロジェクト学習の実践
..... 石谷善英 (39)
- 男女で共に学ぶ家庭科の展開 内田京子 (45)
- 職業観、勤労観、勉学観形成への指導について
..... 柴田重則 (51)
- がんばってます 愛知県「マイコンロボット競技大会」
優勝 岡本弘次 (57)
- 職業高校見聞録 第 15 回(石川県・福井県)
石川県・福井県の職業高校を訪ねて (59)
- 諸外国の職業教育 米国工業教育調査視察記(学校関
係) その II 小池純祥 (61)
- 職業教育課だより
平成 2 年 3 月高等学校卒業者の就職状況、その他
..... (65)
- 第 40 巻第 7 号: 1990 年 7 月 1 日(宇都宮大学附属図
書館)
- ひと 棚橋格先生 竹内伸一 (2)
- 巻頭特集 生徒の学習意欲を高めるための指導方法
評価を踏まえた指導方法の改善 奥谷多作 (3)
- コンピュータ活用による指導方法の工夫
..... 西之園晴夫 (7)
- 外部講師導入による指導方法の活性化
..... 奥田 進 (11)
- 教育課程質疑応答シリーズ (4)
工業(機械系) 山下省蔵 (15)
- 水産 中谷三男 (19)
- 進路指導 鹿嶋研之助 (23)
- ずいそう ハワイ今昔 柴田達男 (27)
- 産業界の動向 「平成元年版 婦人労働の実状」
..... 絹谷よし子 (29)
- 教科等実践シリーズ

園芸科におけるコース制の導入……小林則嗣 (33)

商業経済教育と「課題研究」……金子不二男 (39)

衛生看護科における情報処理教育の導入についての
実践研究……………大橋泰久 (45)

環境と生き生きと交渉する地域学習を通しての勤労
体験学習……………阿部俊徳 (51)

がんばってます 「第16回全国造園デザインコンク
ール住宅庭園の部」最優秀賞を受賞して
……………奥村道昭 (57)

職業高校見聞録 第16回(岩手県) 勸農精神の盛農
…………… (59)

都道府県産業教育だより—広島県
時代の進展に対応した職業教育の充実策について
……………脇 康治 (61)

職業教育課だより
平成2年度産業教育担当指導主事研究協議会、その
他…………… (65)

第40巻第8号：1990年8月1日(宇都宮大学附属図
書館)

ひと 大橋信定先生……………大八木定男 (2)

巻頭特集 農業教育の展望
農業の変化と農業教育の方向……………渡邊昭三 (3)

地域社会を担う農業者の育成……………井上和衛 (7)

林業教育の課題と展望……………木方洋二 (11)

教育課程質疑応答シリーズ (5)

農業……………角田稲良 (15)

商業……………岡田修二 (19)

家庭……………河野公子 (23)

ずいそう おふくろの味……………黒崎俊男 (27)

産業界の動向 野菜生産、流通の現状と課題
……………斉藤省三 (29)

教科等実践シリーズ
学習意欲を高める実験実習……………東 勇介 (33)

本校における「課題研究」について
……………福澤正則 (39)

地域性を生かした学科改編と教育課程の編成
……………松山正治 (45)

地域に根ざした勤労体験学習の実践を通じた啓発的
経験の充実……………福田 操 (51)

がんばってます 田辺「弁慶市」での販売実習
……………岡崎純子 (57)

職業高校見聞録 第17回(沖縄県)「南の拠点」沖
縄県と沖縄工業高校…………… (59)

都道府県産業教育だより—東京都
これからの経済社会の変化と社会教育
……………加島俊雄 (61)

職業教育課だより
平成2年度産業教育担当指導主事研究協議会、その

他…………… (65)

第40巻第9号：1990年9月1日(宇都宮大学附属図
書館)

ひと 田代耕也先生……………人見 忠 (2)

巻頭特集 工業教育の展望
世界の中の我が国の工業教育……………小林一也 (3)

伝統技術分野における工業教育……………日野永一 (7)

新技術分野における工業教育……………岩本 洋 (11)

教育課程質疑応答シリーズ (6)

農業……………角田順三 (15)

工業(電気系)……………吉村義弘 (19)

水産……………中谷三男 (23)

ずいそう イン・タスマニア……………飛鳥光恵 (27)

産業界の動向 最近の我が国の造船界と建造技術の動
向……………塩田昭男 (29)

教科等実践シリーズ
科目「食品流通」の指導内容と実践
……………石川晴夫 (35)

個性に応じた学習指導法の改善……………今村俣啓 (42)

伝統文化を重視した家政科における教育課程の展開
について……………大矢邦彦 (48)

自己教育力を高める勤労体験学習の推進
……………萩元明久 (54)

がんばってます 学校家庭クラブ活動を礎に
……………烏田佐知子 (60)

職業高校見聞録 第18回(埼玉県)
埼玉県立鳩ヶ谷高等学校…………… (62)

都道府県産業教育だより—福岡県
中国との国際交流事業の展開……………外村昭孝 (64)

職業教育課だより
高等学校における留学等について、その他…………… (68)

第40巻第10号：1990年10月1日(宇都宮大学附属
図書館)

ひと 木村寛治先生……………岩本 洋 (2)

巻頭特集 商業教育の展望
商業教育と継続学習……………田島義博 (3)

商業教育に期待する……………村田 博 (7)

これからの商業教育……………大橋信定 (11)

教育課程質疑応答シリーズ (7)

工業(建設系)……………太田龍三 (15)

商業……………岡田修二 (19)

家庭……………河野公子 (23)

ずいそう 母のうしろ姿に教えられたこと
……………伊藤雅俊 (27)

産業界の動向 小売業界の変化と流通へのインパクト
……………寺沢利雄 (29)

教科等実践シリーズ

- 本校における「課題研究」の実践…浅岡廣一 (33)
- 本県における「課題研究」の手引き作成と展開例
その I ……………友河敏雄 (39)
- 衛生看護科における情報処理教育
……………黒崎俊雄 (45)
- 3年間を通じての体系的・発展的な進路指導の実践
……………真鍋竣三 (51)
- がんばってます 地域に根ざす私たちのクラブ活動
……………麻生哲也 (57)
- 職業高校見聞録 第 19 回 (神奈川県)
神奈川県立相原高等学校 …………… (59)
- 都道府県産業教育だより—新潟県
生徒の自己教育力を育成する教育の推進事業
……………牧野正弘 (61)
- 職業教育課だより
平成 3 年度産業教育振興関係概算要求について、その他 …………… (65)
- 第 40 巻第 11 号：1990 年 11 月 1 日 (宇都宮大学附属図書館)
- ひと 森茂先生 ……………池田豊信 (2)
- 巻頭特集 水産教育の展望
社会の変化と水産教育 ……………平野禮次郎 (3)
- 水産教育の果たすべき役割 ……………森沢基吉 (7)
- 水産教育の改善の方向 ……………勝木 茂 (11)
- 教育課程質疑応答シリーズ (8)
- 農業 ……………角田順三 (15)
- 水産 ……………中谷三男 (19)
- 看護 ……………林 滋子 (23)
- ずいそう 世界に秘境を ……………馬淵成寿 (27)
- 産業界の動向 水産育種とバイオテクノロジーの動向
……………隆島史夫 (29)
- 教科等実践シリーズ
地域産業の振興を目指した農業教育
……………藤巻圭介 (33)
- 本県における「課題研究」の手引き作成と展開例
その II ……………友河敏雄 (39)
- 生徒の学習意欲を高める「総合実習」の実践
……………村松廣行 (45)
- 環境整備と校有地活用を中心とした勤労体験学習
……………清水 満 (51)
- がんばってます 世界選手権自転車競技大会で銀メダル取得
……………稲村成浩 (57)
- 職業高校見聞録 第 20 回 (愛知県)
愛知県立吉良高等学校 …………… (59)
- 都道府県産業教育だより—高知県
高知県における職業教育の在り方について
……………川崎希夫 (61)
- 職業教育課だより
平成 2 年度学校基本調査速報 (抄) …………… (65)
- 第 40 巻第 12 号：1990 年 12 月 1 日 (宇都宮大学附属図書館)
- ひと 伊谷実先生 ……………関戸康悦 (2)
- 巻頭特集 家庭科教育の展望
社会の変化と家庭科教育 ……………伊藤央子 (3)
- 職業人としての資質を育てる家庭科教育
……………稲垣 公 (7)
- 新しい家庭科への期待と課題
……………松村房子 (11)
- 教育課程質疑応答シリーズ (9)
- 工業 (化学・材料系) ……………星野佳正 (15)
- 商業 ……………岡田修二 (19)
- 家庭 ……………河野公子 (23)
- ずいそう 課題とその解決は学校農場の中から
……………原山隆雄 (27)
- 産業界の動向 企業の消費者志向と消費生活アドバイザーの役割
……………川村智恵子 (29)
- 教科等実践シリーズ
農業情報処理の効果的な指導法について
……………山口郁雄 (33)
- 新科目「課題研究」の実施に向けた取り組み
……………池田詔彦 (39)
- 多様化するニーズに応える新しい家庭学科の模索
……………杉井昌美 (45)
- 全校で取り組む進路指導の実践 ……澤 國夫 (51)
- がんばってます AFS アメリカ留学体験
……………亀井里恵 (57)
- 職業高校見聞録 第 21 回 (鹿児島県)
鹿児島市立鹿児島女子高等学校 …………… (59)
- 都道府県産業教育だより—青森県
青森県における今後の家庭に関する学科の在り方について
……………松森永祐 (61)
- 職業教育課だより
平成 2 年度 進路指導担当指導主事研究協議会報告、その他 …………… (65)
- 第 41 巻第 1 号：1991 年 1 月 1 日 (宇都宮大学附属図書館)
- 平成 3 年 年頭の所感 ……………井上 裕 (2)
- ひと 田島重雄先生 ……………西山喜一 (6)
- 巻頭特集 看護教育の展望
社会の高齢化、情報化の進展と看護教育
……………林 滋子 (7)
- 看護臨床実習と問題解決能力の育成
……………岩井郁子 (11)
- 高等学校における看護教育に期待されるもの
……………五関二三 (15)

教育課程質疑応答シリーズ	二階堂力 (33)
農業	角田順三 (19)
商業	岡田修二 (23)
看護	兼松百合子 (27)
ずいそう 28年前を顧みて	堀 悞 (31)
産業界の動向	
病院情報システムの現状と将来	開原成允 (33)
教科等実践シリーズ	
オンラインを活用した「総合実践」	藤井哲男 (37)
時代が求める「福祉教養科」	高瀬清和 (43)
本校衛生看護科における情報処理教育の取り組みと今後の課題	藤原基雄 (49)
自主性・積極性を育てる勤労体験学習	松本専成 (55)
がんばってます	
世界のぶどうを集めた農園経営	本 昌康 (61)
職業高校見聞録 第22回 (千葉県)	
明日にはばたく銚子水産高等学校	(63)
都道府県産業教育だより—鹿児島県	
本県高等学校における職業教育の在り方について	常盤 豊 (65)
職業教育課だより	
第14期中央教育審議会学校制度に関する小委員会の審議経過報告について、その他	(69)
第41巻第2号：1991年2月1日 (宇都宮大学附属図書館)	
ひと 稲田春政先生	山田 溪 (2)
巻頭特集 進路指導の展望	
生き方指導としての進路指導の課題	金井 肇 (3)
企業における人材活用と進路指導改善の視点	天谷 正 (7)
大学入学者選抜制度の改善と高等学校の進路指導への期待	松井榮一 (11)
教育課程質疑応答シリーズ (11)	
工業 (インテリア・デザイン系)	日野永一 (15)
家庭	河野公子 (19)
進路指導	鹿嶋研之助 (23)
ずいそう この写生画は誰のものだろうか?	秋竜山 (27)
産業界の動向	
予想される若年労働者の不足と企業の動向	菅原千枝 (29)
教科等実践シリーズ	
農業における課題解決型学習の実践	
工業高校における国際化への対応	池内 淳 (39)
本道の水産高等学校におけるプロジェクト学習の取り組みについて	長尾英一 (45)
個性を生かす進路指導	池場 望 (51)
がんばってます	
児島湖流域水質浄化自主活動に参加して	大広猛夫 (57)
職業高校見聞録 第23回 (栃木県)	
栃木県立小山城南高等学校	(59)
諸外国の職業教育	
アメリカの就職・進学のみと進路指導	藤田英典 (61)
職業教育課だより	
平成2年度 高等学校における学科の設置状況等	(65)
第41巻第3号：1991年3月1日 (宇都宮大学附属図書館)	
ひと 畠山圭司先生	瀬尾圭三 (2)
巻頭特集 地域の特色を生かした職業教育の推進	
地域の産業に対応した職業教育の在り方	村田昭治 (3)
地域の産業構造の変化と職業教育	八幡成美 (7)
群馬県の産業と職業教育とのかかわり	由良 智 (11)
教育課程質疑応答シリーズ	
農業	角田順三 (15)
商業	岡田修二 (19)
家庭	河野公子 (23)
ずいそう 「創立50周年記念式典」に思う	椎名英二郎 (27)
産業界の動向	
平成2年版科学技術白書の概要	寺岡伸章 (29)
教科等実践シリーズ	
林業教育における実習指導	田中 誠 (33)
地域社会と連携を図る工業教育の実践	星 篤志 (39)
OA機器導入による総合実践	秋山 淳 (45)
目的意識を明確にし、活性化を図るための家政科における類型の設置	松田章義 (51)
がんばってます	
サッカーに青春をかけて	江尻篤彦 (57)
職業高校見聞録 第24回 (東京都)	
緑風—東京都立農業高等学校	(59)
都道府県産業教育だより—福井県	
福井県高等学校における職業教育の在り方について	

- て……………鈴木和男 (61)
- 職業教育課だより
平成 3 年 3 月高等学校卒業予定者の就職内定状況、
その他……………(65)
- 第 41 巻第 4 号：1991 年 4 月 1 日 (宇都宮大学附属図書館)
- 巻頭特集 生涯学習社会における職業教育
生涯学習社会と今後の学校教育……市川昭午 (2)
生涯学習社会における職業教育の意義と役割
……………秋山太蔵 (7)
- 職業に関する教科・科目の研究等
農業における「課題研究」導入の留意事項
……………角田順三 (12)
工業の研究指定校「課題研究」の取り組み
……………岩本宗治 (15)
商業における「課題研究」への対応 (I)
……………岡田修二 (18)
「栽培漁業」における水産育種とバイオテクノロジー
の取組み……………中谷三男 (21)
ずい想 職業の真髄……………中川志郎 (24)
教科等実践シリーズ
農業における「課題研究」の実践…堤 英 (26)
生徒一人一人を生かす「課題研究」の指導
……………松下博人 (32)
本校衛生看護科における情報処理教育
……………石科和端 (36)
啓発的な体験学習を通じての進路学習の活性化
……………緒方紘信 (41)
- 産業界の動向
看護婦需給の現状と展望……………矢野正子 (46)
がんばってます
潮風の中で鍛える野球部……………屋良景太 (50)
- 職業高校見聞録
北陸の産業と伝統ある石川県工を訪問して……(52)
都道府県産業教育だより—岐阜県
時代の変化に対応した職業教育の改善・充実につ
いて……………石野利和 (54)
文部省だより
平成 3 年度産業教育振興関係国庫負担 (補助) 事業
の概要……………(58)
- 第 41 巻第 5 号：1991 年 5 月 1 日 (宇都宮大学附属図書館)
- 巻頭特集 望ましい勤労観、職業観の形成
新しい勤労観の形成……………千石 保 (2)
将来の展望を開く職業意識、職業観の形成と職業教育
の在り方……………平井眞一 (7)
職業に関する教科・科目の研究等
商業における「課題研究」への対応 (II)
……………岡田修二 (12)
家庭科における「課題研究」の指導 (その 1)
……………河野公子 (15)
「看護情報処理」の指導計画の作成と学習指導
……………大橋泰久 (18)
進路指導の評価 (その 1)……………鹿島研之助 (21)
ずい想 足の裏で観る……………山下節子 (24)
教科等実践シリーズ
技術習得の意欲を高める実習指導…有川弘道 (26)
新科目「情報技術基礎」の研究と実践
……………小林孝二 (31)
生徒の課題解決のための継続的な学習を推進するた
めの教育課程の編成と指導方法について
……………宮成幸一 (36)
立地条件を生かした勤労体験学習…増田万吉 (41)
- 産業界の動向
基盤技術を担う高校卒業者の能力開発
……………和田弘正 (46)
がんばってます
岐阜工業高等学校 アイデアロボット大会アイデア
賞「ベジーター号」と私達
……………臼井好一・今村亮・林朋広 (50)
- 職業高校見聞録
長野県更級農業高等学校……………(52)
- 諸外国の職業教育
中国の学校教育と進路指導事情
……………吉田辰雄 (54)
- 文部省だより
高等学校の普通科等における家庭科教育のための実
験実習施設・設備について……………(58)
- 第 41 巻第 6 号 (臨時増刊号)：1991 年 5 月 31 日 (宇
都宮大学附属図書館)
- はじめに……………高 為重 (3)
職業教育の将来像—職業教育関係者などに聞く
座談会 職業教育の今後の在り方 —中央教育審議会
答申を読んで—……高 為重/久保田旺/清水希益/
……………長谷部和男/水上 忠 (18)
中教審答申を読んで
商業教育の活性化を図るために…大橋信定 (21)
生涯学習の一環としての学校教育の役割を
……………金子光徳 (23)
工業教育実践の誇りと新しい課題への挑戦
……………木村寛治 (25)
学校・学科間の移動には慎重な配慮を
……………佐藤仁作 (27)
職業教育の目的の確認と充実を…中田基臣 (29)
教師の意識改革の重さを実感

..... 原田龍志 (31)

答申全文 新しい時代に対応する教育の諸制度の改革
について
新しい時代に対応する教育の諸制度の改革について
..... (35)

はじめに (36)

第Ⅰ部 改革の背景と視点 (38)

第1章 改革の背景 (38)

第2章 高等学校の現状と問題点 (46)

第3章 改革の視点 (50)

第Ⅱ部 後期中等教育の改革とこれに関連する高校
教育の課題 (54)

第1章 高校教育の改革 (54)

第2章 受験競争の緩和等 (66)

第Ⅲ部 生涯学習社会の対応 (81)

第1章 生涯学習における学校の役割 (81)

第2章 生涯学習の成果と評価 (85)

改革の実現のために (91)

企業・官庁へ (91)

大学へ (93)

高等学校へ (93)

家庭へ (94)

参考資料

1 諮問文 (98)

2 文部大臣諮問理由説明 (100)

3 文部事務次官補足説明 (103)

4 第14期中央教育審議会審議経過 (106)

5 第14期中央教育審議会委員・臨時委員・専門
委員名簿 (119)

※ 紙幅の都合により答申全文各節のタイトルは省略

第41巻第7号：1991年6月1日（宇都宮大学附属図書館）

巻頭特集 新しい職業高校への転換

後期中等教育の改革と職業教育 真野宮雄 (2)

時代の要請に応える職業高校 笹井宏益 (7)

職業に関する教科・科目の研究等

農業における「課題研究」の指導計画の作成
..... 佐藤順彦 (12)

計量単位のSI単位移行について 岩本宗治 (15)

水産における情報処理教育への取り組み
..... 中谷三男 (18)

進路指導の評価 (2) 鹿嶋研之助 (21)

ずい想 女性の人生LL時代 藤井正子 (24)

教科等実践シリーズ

新科目「課題研究」の研究と実践 榎 司郎 (26)

商業における「課題研究」の実践 中尾俊雄 (31)

情報処理教育を推進するための教育課程の編成と指
導方法について 稲垣 公 (36)

環境美化、奉仕活動を中心とした勤労体験学習
..... 稲垣徹郎 (41)

産業界の動向

高齢化と介護福祉教育に求められるもの
..... 中島紀恵子 (46)

がんばってます

患者から看護を学ぶ 今井幸子 (50)

職業高校見聞録

滋賀県立信楽高等学校 (52)

諸外国の職業教育

イングランドにおける家庭科教育 中原順子 (54)

文部省だより

平成4年3月新規中学校・高等学校卒業者の就職の
ための推薦及び選考開始期日等について (58)

家庭科教育における「服飾デザイン科」の展望
..... 丹沢 巧 (62)

第41巻第8号：1991年7月1日（宇都宮大学附属図書館）

巻頭特集 複合学科の現状と展望

新技術の進展と複合学科の展望 西村重夫 (2)

産業技術科の現状と展望 原野谷末雄 (6)

職業に関する教科・科目の研究等

電子機械科の現状と展望 岩本宗治 (12)

水産における「課題研究」の取り組み
..... 中谷三男 (15)

家庭科における「課題研究」の指導 (その2)
..... 河野公子 (18)

勤労体験学習の進め方の実践 (1)
..... 浅見 匡 (21)

ずい想 囲碁について 田村鍾次郎 (24)

教科等実践シリーズ

農業における「課題研究」の実践
..... 是澤一範 (26)

新学習指導要領に対応した情報処理関連科目の実践
研究 原川芳朗 (31)

情報処理教育を推進するための教育課程の編成と指
導方法について 石川ナミ子 (36)

学校の教育活動全体を通じての「在り方生き方の進
路指導」の実践 鈴木 直 (41)

産業界の動向

日本の流通—90年代の視点
..... 東京商工会議所中小企業部 (46)

がんばってます

保育科に学んで 豊田史恵 (50)

職業高校見聞録

神奈川県立三崎水産高等学校 (52)

都道府県産業教育だより—岩手県

職業高校におけるAETの活用 村松 轟 (54)

エントロピーについて

(21 世紀のエネルギー問題及び地球環境問題・それらの解決法について)

大 竹 浩 靖

Thermodynamic, Statistical mechanic and Informatics Entropies (Solutions of Energy and Ecology Problems under 21st Century)

OHTAKE Hiroyasu

Abstract

I considered 1. thermodynamic entropy, 2. entropy under irreversible process, 3. statistical mechanic entropy and 4. informatics entropy. I hoped solutions of energy and ecology problems under 21st century.

1. はじめに

21 世紀は（地球）環境の世紀と言える。すなわち、100 億の人間を如何に幸せに保てる地球環境を創るかである。なお、古代の狩猟生活で支えられる地球人口は 100 万人（旧石器時代・20 万年前）と言われ[1]（人類学者は、狩猟採集生活における人口密度の目安を 0.4 人 / km² 程度としているが、実際には 0.04 人 / km² から 1.0 人 / km² 程度の範囲が現実的とされる [1]：“面積”（km²）の取り方が重要（豊かな土地か否か）と考えられる）、農耕社会となったローマ帝国時代の西暦 0 年の人口は 2 億人[1]であった。その後、農耕器具の発達や家畜・水風車の利用により人口の増加はあった（1750 年 7 億人[1]）が、大きく発展・増加したのは 18 世紀半ばの産業革命、代表的なワットの蒸気機関の発明・1765 年[1]（熱力学的に正しい表現は、ニューコメンの蒸気機関に蒸気凝縮（復水）副室を追加した改良であるが、（蒸気機関全体の水冷却がなくなり）熱効率が 20 倍程向上化したので発明と呼んでも間違いはない）以降である（1750 年から 200 年間で、7 億人から 25 億人：3.5 倍[1]）。さらに、石炭か

ら石油の利用、20 世紀の原子力（ウラン・最近では MOX 燃料）や天然ガスの利用に至り、現在の 80 億人（2022 年 11 月 15 日：国際連合発表）[1]【補足：工学単位系の重量表示を用いると、ヒトは 4 億トン（50kg/人）。一方、野生動物、特に哺乳類動物は 6 千万トン。その内訳は、陸生：2 千万トン、海生：4 千万トン、陸生動物の主なものは大型草食動物で、その中でも偶蹄目が 49%（重量比：1 千万トン）、齧歯目 43%（種数）、海生動物はクジラ 80% 超で、そのクジラの内ヒゲクジラ類 60%。さらに付け加えると、家畜動物が 6 億 3 千万トン、その大半が食肉用（主にウシ）である。次に記述する地球温暖化問題であるが、現在、発電所や自動車等による排出ガスが問題になっているが、今後家畜動物による排出ガス（ウシによるメタンガス）が問題になる[1]と思われる】を支える豊かな社会となっている。しかしながら、地球温暖化が危惧されており、実際、北極の水（海上に浮いて存在. vs. 南極の水は南極大陸上に存在）の減少や大型かつ強い台風・ハリケーン（最近の日本では線状降水帯による豪雨）等の発生（故に海面上昇・水害）が顕著となっている。

この問題を解決するため、再生可能エネルギーの活用が議論されているがここでは熱力学・熱工学の面から議論していきたい。

すなわち、熱力学第二法則からの解決方法である。まず、熱力学第二法則を説明する。これは、『自然界に何らかの変化を残さないで一定温度のある熱源の熱を継続して仕事に変える機械は実現不可能である（ケルビン・プランク）』及び『自然界に何らかの変化を残さないで熱を低温の物体から高温の物体に継続して移す機械・熱ポンプは実現不可能である（クラウジウス）』である[2]。これは自然科学で唯一、方向を定める法則（高温物体から低温物体に熱が移動する・但し経験則であり理論的に証明されていない【補足：スティーヴン・ホーキングズ博士によると、ある時期よりエントロピー減少化が起こることということである[1]】）であり、現在の地球環境の維持に有用と考えられる。

そこで、ここでは、熱力学第二法則で重要な“エントロピー”について議論（解説）する。その流れは、①熱力学的エントロピー、②不可逆変化のエントロピー、③統計力学的エントロピー：熱力学的確率、④情報学的エントロピー、と順番に解説する。

2. 熱力学的エントロピー

まずは、熱力学的エントロピーを解説する[2]。基本的方針は“熱量の状態量化”である。これには、“(可逆) カルノーサイクル”を利用する。カルノーサイクルとは二つの等温変化 ($PV = \text{【定数】}$) と二つの断熱変化 ($PV^\kappa = \text{【定数】}$; $\kappa = \text{【比熱比 or 断熱定数】} = \text{【空気は 1.40】}$) からなるサイクルである（理想上のサイクルと考えられていたが、等温過程の実現次第で実現可能。現在、これに最も近いサイクルは、ランキン・サイクル（断熱膨張・仕事発生→等温冷却→断熱圧縮→等圧加熱・一部等圧等温加熱→断熱膨張…）である）。この可逆カルノーサイクルでは、

$$Q_1/Q_2=T_1/T_2 \tag{1}$$

(Q: 熱量[J]、T: 絶対温度[K]、添字 1: 高温部、添字 2: 低温部)

が熱力学的にわかり、その熱機関の熱効率は、

$$\eta = 1 - T_2/T_1 \tag{2}$$

となる。さらに、外部から受ける熱量を正、捨てる熱量を負とすると、先程の関係式は、

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2=0 \tag{1}'$$

になる。これを2個の複合カルノーサイクルに拡張すると、

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 + Q_3/T_3 + Q_4/T_4=0$$

が得られる (図1[2]参照;ただし、図1中の記号を使うと、上式は、 $Q_1/T_1 + Q'_3/T_3 + Q_2/T_2 + Q''_3/T_3=0$ 、となる)。さらに、多くの複合カルノーサイクルに拡張すると、

$$\sum_{i=1}^n \frac{Q}{T} = 0$$

となり (図2[2]参照)、最終的に“無数のカルノーサイクル”に拡張すると、

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \tag{3}$$

となる。これを、『クラウジウスの積分』と呼ぶ。すなわち、可逆サイクルに対してクラウジウスの積分はゼロ、となる。さらに、任意の可逆サイクルは無数のカルノーサイクルで置き換えられる、となる。

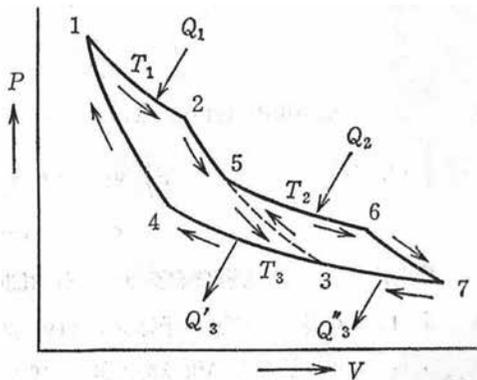


図1 複合カルノーサイクル [2]

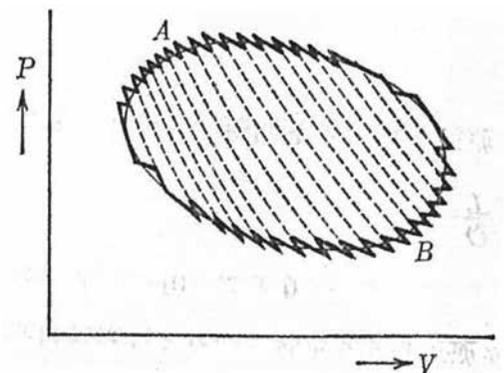


図2 任意の可逆サイクルは無数のカルノーサイクルで置き換えられる [2]

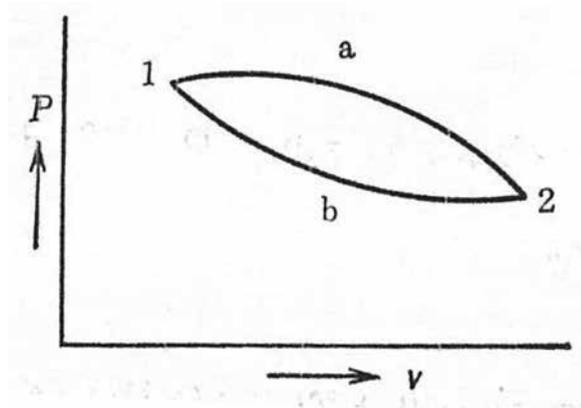


図 3 任意の可逆サイクル [2]

よって、このクラウジウスの積分を利用すると、

$$\int_{1 \rightarrow a}^2 \frac{dQ}{T} + \int_{1 \rightarrow b}^2 \frac{dQ}{T} = 0 \quad (\text{図 3[2]参照})$$

故に、

$$\int_{1 \rightarrow a}^2 \frac{dQ}{T} = \int_{1 \rightarrow b}^2 \frac{dQ}{T}$$

となり、

$$\int \frac{dQ}{T} = \Delta S \quad (4)$$

は経路によらない量、状態量となる。これを、“エントロピー (entropy) : クラウジウスにより、ギリシャ語で「変換」を意味する「トロペー」から命名された[1]”と定義する。なお、記号は、S (クラウジウスによって、サディ・カルノー【補足：ニコラ・レオナルド・サディ・カルノー (1796-1832) ; フランスの軍人、物理学者、技術者。1824 年、『火の動力、および、この動力を発生させるに適した機関についての考察』を出版し、古典熱力学の基礎を完成させた。ただし、熱素説 (カロリック説) を支持していた[1]】の頭文字から採られた[1])、が使われ、その単位は J/K となる。また、単位質量当たりのエントロピーを比エントロピーと呼び、その単位は J/kgK となる。

この状態量・エントロピーは、各サイクルで利用され、特に電気をつくる火力発電所及び原子力発電所のランキン・サイクル (前出) では、その性能を表す熱効率を求める (設計の際およびその運転時に利用される)。

3. 不可逆変化のエントロピー

まず、カルノー熱機関で仕事を作り、その仕事を使いカルノーヒートポンプを動かし、低熱源から高熱源に熱を移動することを考える[2]。熱機関とヒートポンプの効率を同じとする（例えば50%）と、熱機関の発生仕事量が50（高熱源からの熱が100の時）となり、ヒートポンプが高熱源に与える熱は100となる。よって、熱の移動がなく、何もしないと同等となり、熱力学に矛盾しない。次に、非カルノー熱機関で仕事を作り、カルノーヒートポンプで熱移動させることを考える。まず、（非カルノー熱機関の効率：25%）<（カルノーヒートポンプの効率：50%）とすると、熱機関から低熱源に移動する熱は75、ヒートポンプから高熱源に移動する熱は50（∵仕事=25）となり、結果的に“熱力学第二法則”に矛盾しない。一方、（非カルノー熱機関の効率：75%）>（カルノーヒートポンプの効率：50%）とすると、熱機関から低熱源に移動する熱は25、ヒートポンプから高熱源に移動する熱は150となり、結果的に“熱力学第二法則に矛盾”する（低熱源から高熱源に50の熱が移動する）。故に、カルノーサイクルの効率が最高であることが証明できる。

さらに、不可逆変化におけるエントロピーを考える。ここでは、不可逆カルノー熱機関で仕事を作り、可逆カルノーヒートポンプで熱移動させることを考える。この場合、可逆変化の仕事は、

$$dL = PdV,$$

不可逆変化の仕事は、

$$dL < PdV,$$

また、可逆カルノーサイクルの効率が最高であることより、 $Q_1 > Q_2 + L$ 、となる。また、熱ポンプは可逆サイクルなので、 $Q_2/T_2 - Q_4/T_1 = 0$ 、熱機関は不可逆サイクルなので、 $Q_1/T_1 - Q_3/T_2 \neq 0$ ($=x$)、となる。ここで、 x の正負を検討すると、

$$\begin{aligned} x &= (Q_1 - Q_4) / T_1 - (Q_3 - Q_2) / T_2 = \{Q_1 - (Q_2 + L)\} / T_1 - \{(Q_1 - L) - Q_2\} / T_2 \\ &= \{Q_1 - (Q_2 - L)\} / (1/T_1 - 1/T_2) \end{aligned}$$

となり、 $Q_1 > Q_2 + L$ と $T_1 > T_2$ より、 $\{Q_1 - (Q_2 - L)\} > 0$ および $(1/T_1 - 1/T_2) < 0$ より、

$$x < 0$$

となる。よって、不可逆サイクルでは、 $Q_1/T_1 - Q_3/T_2 < 0$ 、また、エントロピーの導き出しで行ったように、 Q_3 は外部に捨てる熱なので、 $Q_1/T_1 + Q_3/T_2 < 0$ 、となる。最終的に、任意の不可逆サイクルに拡張して、

$$\oint \frac{dQ}{T} < 0$$

となり、これを“クラウジウスの不等式”と呼ぶ。つまり、損失がある、ことを表している。これを利用すると、 $\int_{1 \rightarrow a}^2 \frac{dQ}{T} - \int_{1 \rightarrow b}^2 \frac{dQ}{T} < 0$ ($\int_{1 \rightarrow b}^2 \frac{dQ}{T} = S_2 - S_1$: 可逆変化)。よって、不可逆変化では、

$$\int_{1 \rightarrow a}^2 \frac{dQ}{T} < S_2 - S_1 \quad (5)$$

となる。故に、経路に沿った積分 dQ/T より、エントロピー変化は常に大きくなる。

さらに、この不可逆状態のエントロピーを考える。すなわち、熱源のエントロピー変化も考え、一般的拡張を行う。まず、①熱源が可逆変化、動作物質が可逆サイクルの場合、熱源のエントロピー変化は： $dS_0 = -dQ/T$ 、動作物質のエントロピー変化は： $dS = dQ/T$ 、となり、その和はゼロとなり、“可逆サイクルでは、熱源のエントロピーと動作物質のエントロピーとの和は不変”と言える。②熱源が可逆変化、動作物質が不可逆サイクルの場合、熱源のエントロピー変化は： $dS_0 = -dQ/T$ 、動作物質のエントロピー変化は： $dS > dQ/T$ 、となり、その和は $d(S_0 + S) > 0$ 。③熱源が不可逆変化、動作物質が不可逆サイクルの場合、熱源のエントロピー変化は： $dS_0 > -dQ/T_0$ 、動作物質のエントロピー変化は： $dS > dQ/T$ 、となり、その和は $d(S_0 + S) > 0$ ($\because T_0 > T$)。すなわち、不可逆変化(サイクル)では(熱源と動作物質の)エントロピーの和は増加する。言い換えると、一つの孤立系の中のエントロピーの総和は、可逆変化では不変、不可逆変化を生じると増加する。そして不可逆変化の代表的な現象が自然現象であり、具体的には、摩擦、伝熱、拡散等が知られている。故に、自然界の現象はエントロピー増加に向かう(極大値に向かう)。これが、熱力学第二法則であり、変化の方向を規定する(高温物体と低温物体が接触して平衡温度の物体になるのを、それらのエントロピー変化(増加)から証明できる；エネルギー保存則的にはどちらの方向も問題なく(等しく)熱力学第一法則からの方向性の証明は不可能)。そして、この法則で重要な物理量(状態量)であるエントロピーは、不可逆の尺度であり、熱力学的確率(次節で説明)となる。

なお、最近、現代熱力学によって自己組織化が知られている[3](イリヤ・プリゴジンの表現で示せば、「散逸構造」)。すなわち、変数の増加と共に、エントロピーも増加するが、自己組織化によりエントロピーが減少する。そのよい例が流れの層流から乱流への遷移である。すなわち、この現象の変数であるレイノルズ数が低い時は層状の(規則性のある)層流であるが、レイノルズ数の増加と共に、不規則な遷移域に移る。さらに、レイノルズ数が増加すると、乱流となる。なお、この乱流は、ランダムな現象ではなく、壁近傍のバースティング現象[4]等規則性を有している。つまり、エントロピーは低い状態となる。同じような現象が、生物の進化でも見られる。また、私の専門分野である熱工学・沸騰伝熱でも、蒸気泡の核沸騰から(不規則な遷移沸騰を経て)テイラー不安定を伴う膜沸騰への遷移で同様な現

象が見られる[5]。

【補足：個人用な意見となるが、前述した、“ホーキング博士が指摘したエントロピー減少の世界になる”は、“常にエントロピー減少の世界になるのではなく”この自己組織化による減少が起こる、と思わられる。】

4. 統計力学的エントロピー：熱力学的確率

統計力学的エントロピーについて議論する。ここでは気体の拡散・混合について考える。すなわち、気体分子の n_1 個が左半分に存在する数（何通り）を考える[2]。今、気体分子 10 個の場合を考えると、左半分に分子が存在しない（右に 10 個）時は唯一、1 通りである。次に左半分に分子が 1 個存在する数は、A の分子が入ってもよし、B の分子が入ってもよし、等 10 通りが考えられる。さらに、左半分に分子 2 個が存在する数は、A-B, A-C, A-D... が入ってもよいが、A-B と B-A は同じ、即ち“1 通り”となる。つまり、“組み合わせの数”、 ${}_{10}C_2 = 10 \times 9 / (2 \times 1) = 45$ 通り、となる。続く左に 3 個が存在する数は、A-B-C, A-B-D...、 ${}_{10}C_3 = 120$ 通りとなる。4 個は ${}_{10}C_4 = 210$ 通り、5 個は ${}_{10}C_5 = 256$ 通り、6 個以上は対称（4 個と同じ 210 通り、10 個は 0 個と同じ 1 通り）となる。この組み合わせの数（通り）を、熱力学確率と呼び、1 以上の大きな自然数となる。結果、全体で 1024 通りとなる。すべて均等に起こるとすれば、5-5 が $256/1024 = 24.6\%$ と最も起こり易くなる。一方、0-10 と 10-0 は 1 通り = 0.0977% であり、この状態が起こることは極めて少ない。今の場合分子数が 10 個であったが、より現実的な 22.4l (1 モル) 中 6.02×10^{23} 個（アボガドロ数： N_0 ）の場合は、さらに均等に分散される熱力学確率が極めて高くなり（図 4[2] 参照；図 4 中の計算結果には $n=1000$ までしかないが、均等化するのが十二分にわかる）、自然界はこのような状態となる。これを示す尺度が統計力学的エントロピーとなる。

なお、この統計力学的エントロピーを定式化すると、 $S = k \ln W$ となる[2]。ここで、 k は、ボルツマン定数であり、理想気体分子 1 個に対するガス定数 ($k = R_0 / N_0 = 1.381 \times 10^{-26} \text{ kJ/K}$) となる (W は熱力学的確率)。

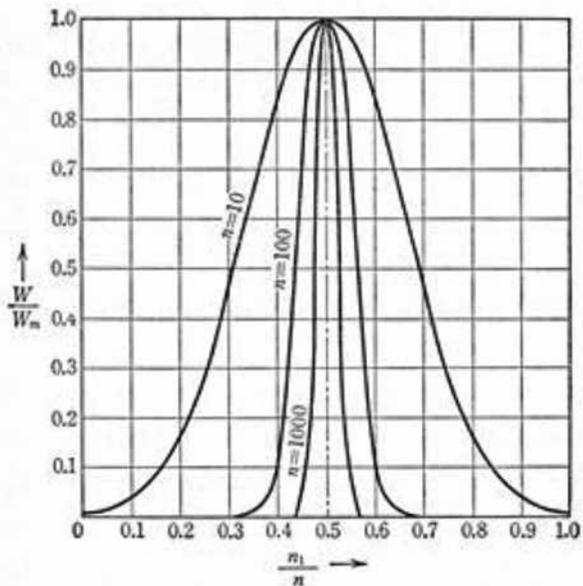


図 4 熱力学的確率（縦軸は、 $W_{\max}/W_m = 1$ 、としている）[2]

5. 情報学的エントロピー

最後に、情報学的エントロピーについて議論（解説）する。ここでは、“クイックソーティング”を中心に解説するが、まずは一般的なバブルソーティングを紹介する。バブルソーティングは、一般的なプログラミングの教科書に記載されているように、右端の数の大小を右端 2 番目の数と比較し大きい場合入れ替える。次に、右端の数の大小を 3 番目の数と比較し大きい場合入れ替える。この手順を左端まで繰り返した結果、最も大きい数が右端に残る。続いて、右 2 番目の数を選び同じ手順を繰り返すと、2 番目に大きい数が選ばれる。この手順を左端まで繰り返すと、大きい順に数が揃い、ソーティングが完了する。考え方及びプログラムは単純ではあるが、計算時間は平均的にほぼ n^2 に比例する[6]。コンピューター初期の 20 世紀はこの方法でよかったが、人工知能化が進む 21 世紀は、より効率（高速）化が求められている。そこで、登場したのが“クイックソーティング”である。この方法の要旨は以下である。与えられた数の集団を、『第 1 のグループの数がすべて第 2 のグループの数より大きくなる』様に分ける。そして第 1 のグループをさらに整列させるため、『数が大きいグループ 1.1 と小さいグループ 1.2』に分ける。これを続けるのが、クイックソーティングである。つまり、2 桁の自然数のグループを考えると、まず① 50 以上の第 1 グループと 50 未満の第 2 グループに分ける。次に② 75 以上のグループ 1.1 と 75 未満のグループ 1.2 に分ける。さらに③ 92 以上のグループ 1.1.1 と 92 未満の 1.1.2 グループに分ける。この操作を、グループ 1.2 及び第 2 グループを含めて、繰り返すとソーティングが完了する。バブルソーティングとの相違は、クイックソーティングでは一回のグループ分けで、50 以上と 50 未満、とすべての数に規則性を持たせられるのに対して、バブルソーティングでは数列の数の操作（入れ替え）で左端に最大値が得られただけで、残りの $n-1$ 個の数には規則性がない。結果的に、クイックソーティングは早期に“エントロピーの小さい数列”が作られるのに対して、バブルソーティングはエントロピーの大きい数列を作る。実際、クイックソーティングの計算時間は“ $n \times \ln n$ ”に比例し[6]、バブルソーティングの計算時間“ n^2 ”より短い。さらにこの数式は（物性値・記号の相違があるものも）統計力学的エントロピーと同じものとなる。すなわち、同じエントロピーとなる。なお、情報学の基本となるのは 2 進数となることにより、『 $\ln n = \log_{2.72} n = \text{約} \log_2 n$ ($\log_2 x = \lg x : 2$ 進対数)』とすることもある[1]。

6. まとめ

エントロピー、特に、①熱力学的エントロピー、②不可逆変化のエントロピー、③統計力学的エントロピー：熱力学的確率、④情報学的エントロピー、について順番に解説した。今後のエネルギー問題及び地球環境問題の解決の参考になれば幸いである。

参考文献

1. インターネット検索エンジン：例えば、<https://www.yahoo.co.jp/>、(2023)。
2. 谷下市松著、工学基礎熱力学・SI単位による全訂版、裳華房、(1982・全訂第13版：SI単位が工学で使われ出したのがこの時期、かつ、最も早く導入されたのが熱力学)。
3. イリヤ・プリゴジン著、構造・安定性・ゆらぎ、みすず書房、(1977)。
4. 笠木伸英著、壁面せん断乱流の構造と輸送機構、伝熱研究、Vol. 32, No. 124、(1993)、37-50。
5. 西尾茂文著、沸騰熱伝達の基本構造、株式会社インプレス R & D、(2018)。
6. 加藤潔著、Excel環境における Visual Basic プログラミング—Excel2003対応—第2版、共立出版、(2006)。

(おおたけ ひろやす 総合研究所 特任教授)

編集委員

内山 宗昭	小野 一
数馬 広二	勝田 由美
飛松敬二郎	林 真理

工学院大学研究論叢 第 61-1 号

2023 年 12 月 8 日 印 刷
2023 年 12 月 18 日 発 行

東京都新宿区西新宿 1-24-2 (☎ 163-8677)
電 話 03 (3340) 0 1 3 3
F A X 03 (5322) 8 5 7 0
発 行 者 工 学 院 大 学
編 集 責 任 者 数 馬 広 二

非 売 品

印 刷 所 株 式 会 社 外 為 印 刷
