

実験音声学小史

— ルスロ以来の伝統をふまえて —

福 盛 貴 弘

A brief history of Experimental Phonetics.

FUKUMORI Takahiro

1. 序

音声学が文系のみに属するわけでも理系のみに属するわけでもないということは、学史を追えば自然な解釈である。もちろん、音声を扱うにあたって文系的アプローチと理系的アプローチでは目的や方法は異なる。しかし、その差異を包括して音声（言語音）を探究する科学の分野が「音声学」であるのなら、音声学は昔から今に至るまで、さらにいえば今後ずっと文理の垣根はないといえる。この点を確認するために、まずは学史を追いながら、実験音声学（phonétique expérimentale, experimental phonetics）という学問分野を改めて省察することが本稿の目的である。

2. 音声学小史

2.1. 言語記述における音声研究

古代インドの音声研究は、ヴェーダのマントラ研究から生じた研究領域である。書物としては、ヴェーダのマントラを唱える手引書としてのプラーティシャーキャ（prāṭisākhya）と、音声学的考察を記したシクシャー（śikṣā）があり、音声学における最古の文献は、リク・プラーティシャーキャ（Rk-Prāṭisākhya）と言われている。また、紀元前5世紀のインドの文法学者であるパーニニ（Pāṇini）は『八章文典（Aṣṭādhyāyī）』の中で、語音を調音様式（破裂音・摩擦音・鼻音などの区別）・有気無気・そり舌化などの基準で既に分類していることが確認できる。その後、サンスクリット語学の考え方が日本にも伝わってきて、日本国内で悉曇学^{しつたんがく}という分野が成立した。その悉曇学では、880年に記された安然^{あんねん}の『悉曇藏^{しつたんぞう}』で、脣声・舌声・喉声といった3つの基準で音を分類するという三内説^{さんないせつ}が記されている。これは既に調音位置を意識していたと考えられる。言語音を記述する際、何らかの形で生理面を意識するのは当然のことである。こういった一面から文系のみに属しているわけではないことが窺知される。

2.2. 医工学における音声研究

中国で前漢の時代に編纂されたとされる医学書『黄帝内経靈樞^{こうていだいけいれいすう}』において音声に関する生理学

的な記述がある。「腸胃篇」において、声道における口唇の両端、口唇～歯および歯～^{ええん}会厭⁽¹⁾の距離や、舌や咽門における重さが記され、「憂患無言篇」において、言語音を産出する際に関わる部位としての口唇・舌・^{けんようすい}懸雍垂 (= 口蓋垂)・^{こうそう}頤頰⁽²⁾について簡単な説明がなされている。その後、近代科学の発展に伴い、18世紀以降、生理学や音響学の観点から音声を対象とする研究が進展したといえる。声道共鳴腔の形状や喉頭のモデル化などから言語音に含まれる周波数の特徴を探るという流れからはじまって、音声研究が進んできた。その研究の中で、ドイツ語・フランス語・英語では音声の特徴が異なるといった側面から逃れられない以上、生理学や音響学における一般則を検討すると同時に、分析結果が個別言語の特徴に影響されるという現状がある。個別言語の記述においては記述音声学・言語学に一日の長があり、その成果を無視して研究を進めることは困難である。こういった一面から理系のみに属しているわけでないことが窺知される。

3. ルスロの実験音声学

医工学の音声研究が機器を用いた解析が主であったのに対し、記述音声学も機器を用いる研究に移行しようとする時期があった。パリの言語学会では1874年に音声の器械実験に関する委員会が設置され、ロザペリ (Norbert Rosapelly) やアヴェ (Pierre Antoine Louis Havet) が活躍した。この2人に教えを受けたルスロ (Jean-Pierre Rousselot) が音声学において「実験音声学」という呼び方を世に知らしめた。普及させた大きな要因は、「キモグラフ」の考案と、当時存在した器械およびその使い方を紹介し、自身の研究のあり方を示した『実験音声学の原理 (Principes de phonétique expérimentale)』を著した点に集約される。以下では、ルスロの実験音声学がいかなるものであったかを確認していく。

3. 1. キモグラフの考案

3. 1. 1. 実験生理学の援用

ルスロはドイツの生理学者ルートヴィヒ (Karl Friedrich Wilhelm Ludwig) が1847年に血圧測定用器材として開発したキモグラフ (kymograph) に注目し、これを音声学の器材として応用できないかを模索していた。キモグラフは、ギリシア語の *kyma* (波) と *graphō* (記録器) を組み合わせたルートヴィヒによる造語であり、描画用の記録針を、いぶした紙で覆った円筒形式のドラムと組み合わせて、血圧の変化を波状の動態変調として記録する器材である。その後、フィーアオルト (Karl von Vierordt) による脈波形 (sphygmograph) やヘルムホルツ (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz) による筋肉運動記録計 (myograph) などの器材発展を経て、マレ (Étienne Jules Marey) によって1861年に微妙な生理学的な動きを捉えるために開発されたマレのタンブール (Marey-style tambour、Mareyscher Tambour) と呼ばれるゴム膜付の記録器 (生理的振動をゴム膜が受け、ゴム膜の振動が記録針に伝わる器材) を応用し、ルスロはようやく生理音声学の客観的観察ができる器械としてのキモグラフ⁽³⁾を考案するに至った。

3.1.2. 音声記録装置

当時、音波を記録する器械としては、1857年にスコット (Edouard Leon Scott) による音声記録装置 (phonautograph)、1877年にエジソン (Thomas Alva Edison) による^{すずはく}錫箔円筒式蓄音機 (phonograph)、1885年にベル (Alexander Graham Bell) による蠟円筒式 (蠟管式) 蓄音機 (graphophone)、1887年にベルリナー (Emil Berliner) による円盤式蓄音機 (gramophone) などが存在した。これらの器械式音声記録法は後の音声解析に多大な影響を与えることになる。ルスロはもちろんこれらの器械の動向に注意を払っていた。しかし、詳細な動機は不明だが、ルスロはキモグラフ考案時には音響学より生理学に注目していたように思われる。

3.1.3. ルスロのキモグラフ

音声学用のキモグラフは、喉頭・口腔・鼻腔の3か所の調音運動を捉えて記録する器材である。口腔からの音波だけを捉えるのではなく、鼻腔や喉頭の生理的振動をも捉えられる器械であり、言語音の特徴を総合的に捉えるためには画期的な器械であった。ルスロによるキモグラフの考案によって、ルスロは記述音声学に客観的観察を方法論的に適用した実験音声学という分野を世に知らしめたと言える。これによって、当時の科学がドイツ主流で近代科学としての客観的方法論の確立を目指していた現状に対し、音声学においてはフランスが一矢報いたといえよう。

3.2. 『実験音声学の原理』

ルスロによって『実験音声学の原理』が記され、フランスのカトリック寺院 (Institut catholique) で実験音声学の講座 (cours de phonétique expérimentale) が開設されることで、実験音声学は道を歩み始めたといえる。19世紀末当時の音声学は、主観的観察に基づく記述音声学と歴史言語学における音韻変化を理解するための歴史音声学といった2つの分野が主流であった。その現状に満足しなかったルスロは、音声学に対して客観的観察を導入するための方法を考えていた。そこに生理学や音響学におけるデータの可視化を目指した記録器と技術の発展による様々な機器の開発によって、客観的観察を検討する時代に入った。19世紀に様々な分野において「実験〇〇学」という名称が確立していく中で、音声学もルスロの成果によってその潮流にのることができたのである。

4. 実験音声学を取り巻くさまざまな音声研究の立場

本節では、ルスロによって確立された実験音声学に対して、当時の実験音声学を取り巻く音声研究がいかなる立場であったのかを概観する。その主たるものとしてあげられるのが、「器械音声学」と「音声科学」である。

4.1. 実験音声学に対する器械音声学

イエスペルセン (Otto Jespersen) は、実験というのは主観的であるか客観的であるかを問わないという点から、ルスロらの実験音声学が主に器械を用いることが中心となっている現状に対し、器械音声学 (Instrumentalphonetik、Instrumental phonetics) という名称を提唱した。し

かし、これは近代科学が定性化と定量化の両者を用いた客観的な方法論を確立することを目指した時代の流れからみれば、器械音声学の提唱は実験音声学の一面しか捉えていない考え方であったといえる。

しかしながら、野外調査においていわゆる紙と鉛筆、耳と目による主観的観察による記述調査に対し、器械を持ち込んで記述するという方法に対しては、器械音声学という呼び名が不適切だとはいえない。よって、今なお一考の余地がある提唱であったといえる。

現在は、廉価なパソコンやソフトの普及によって、誰でも手軽に器械を使って音声解析できる時代である。しかし、そこにどのような目的があるのか、またその目的を果たす方法が適切であるのか、こういったことを常に考えていかなければ、器械を用いたところで器械音声学にも値しない。この点をふまえた上で、目的・方法が音声学的であるということを自明とするのであれば、実験室での研究を実験音声学、野外調査で器械を導入した研究を器械音声学とするのが、分かりやすい区分であると考ええる。

4. 2. 国際音声学会に対する国際音声科学会議

国際音声学会は、1886年にパシー（Paul Passy）のよびかけで、前身の英語教師音声学会（L'Association Phonétique des Professeurs d'Anglais）から音声学教師会（Dhi Fonètik Ticerz' Asóciécon = the Phonetic Teachers' Association）に改称してパリで発足した。発足当初は、教育現場で音声表記が有効に使えるための議論が主流であったが、イエスペルセンが個別言語だけでなく国際的に通用する音声の記号体系を構築することを提唱した。その後、教育音声学の色を残しながら、1889年に現代語教師音声学会（L'Association Phonétique des Professeurs de Langues Vivantes）と改名し、1897年に国際音声学会（L'Association Phonétique Internationale = the International Phonetic Association）になった。そこで、国際的に通用する音声記号を検討するためにピトマン（Issac Pitman）とエリス（Alexander John Ellis）による「1847年版音声記号（1847 Alphabet）」を採択し、その後さまざまな改訂を経て、現行の国際音声記号（IPA: International Phonetic Alphabet）ができあがった。

一方で、初期の国際音声学会が教育音声学の色を残していたために、発音技術レベルから脱していないといった批判が起こった。その批判を契機に誕生したのが、国際音声科学会議（ICPhS: International Congress of Phonetic Sciences）であった。オランダのヒネケン（Jacobus Johannes Antonius van Ginneken）を議長として1932年にアムステルダムで第1回会議が開催された。そこで扱われたのは、音声に関わるさまざまなトピックであり、音声学・言語学（音韻論）にとどまらず、生理学・病理学・心理学・人類学・音楽学なども含まれた。もちろん実験音声学もこの中に含まれるのであるが、ここで用いられた「音声科学」という名称は、音声に関わるさまざまな分野を学際的に集結させた連合体に対して与えられた名称と考えられる。以上の点から、実験音声学と音声科学は、基本的な立脚基盤に違いがあることが確認できる。

5. 実験音声学の対象と方法

ルスロによる実験音声学は記述音声学に対して客観的観察を導入することから始まっている。よって、(a)音声の産出・生成に関わる調音音声学、(b)音声の伝播に関わる音響音声学、(c)音声の知覚・認知に関わる聴覚音声学の3分野の全てが対象になると考えられる。以下に、それぞれにおけるいくつかの方法を示す。

5.1. 調音音声学

パラトグラフィー⁽⁴⁾とX線撮影が代表的である。

パラトグラフィー（舌口蓋接触計測法：palatography）は、上顎の口蓋に対する舌接触を調べるための方法である。1870年代以降、口腔内に直接塗料や色素を塗って接触を確認する直接法（direct palatography）から始まったとされる。この方法では、主に子音の調音位置を静的（static palatography）に捉えていた。静的直接法は、1871年に、コールズ（James Oakley Coles）の試みで、口蓋に直接塗料を塗って舌接触によってはがれた部分を観察する研究から進展が始まった。一方、直接法の問題点⁽⁵⁾を解消すべく、石膏製・金属製・錫板製・紙製・プラスチック製など様々なもので作られた人工口蓋（artificial palate）を口蓋にはめて人工口蓋に塗布した粉末のはがれた部分を描記するという間接法（indirect palatography）が1880年代以降に広がった。ルスロもパラトグラフィーに関わっており、直接法から間接法に移行して研究を進め⁽⁶⁾、記録図に対しパラトグラム（palatogram）と呼んだ⁽⁷⁾。その後、1960年代には時間軸に沿ったパラトグラムを示すといった動的手法（dynamic palatography）に基づくエレクトロパラトグラフィー（EPG: electropalatography）が開発された⁽⁸⁾。これは、人工口蓋に電極を埋め込み、舌と口蓋の接触を電氣的に検出する方法である。EPGの開発によって、調音に関わる舌接触は調音点という用語にみられるような一点では捉えられないこと、正中矢状口腔断面図による接触を観察するだけでは不十分であることが確認された。

X線撮影はドイツの物理学者レントゲン（Wilhelm Conrad Röntgen）が1895年に発見したX線を応用した写真記録法で、実験音声学では喉頭の動きや母音の舌位置を捉えるために用いられた。X線撮影が2次元かつ静的に捉えざるを得なかったのに対し、現在ではfMRI（functional magnetic resonance imaging：機能的磁気共鳴画像法）による3次元動画撮影法などによって、声道内の調音器官の動きを動的に捉えられるようになっている。

5.2. 音響音声学

オシログラフ（oscillograph）やサウンドスペクトログラフ（soundspectrograph）による研究が代表的である。

オシログラフは、1897年にドイツの物理学者ブラウン（Karl Ferdinand Braun）によって陰極線（ブラウン管）オシロスコープが開発され、その後マイクロフォンと組み合わせて音波の記録器として改良された電気器材である。オシログラフで示されるのはいわゆる原波形である。この原波形をフーリエ解析法によって算出する装置をサウンドスペクトログラフあるいはソナグラフ

(sonagraph) と呼び、算出によって縦軸に周波数を横軸に時間を配置した図をサウンドスペクトログラム (soundspectrogram) と呼ぶ。1940年代にベル研究所で開発されたサウンドスペクトログラムはフォルマント周波数や基本周波数の提示に向いており、1947年のポッター (Ralph K. Potter)・コップ (George A. Kopp)・グリーン (Harriet C. Green) による成果によってスペクトログラムの見方が、1951年のドラットル (Pierre C. Delattre)・リバーマン (Alvin M. Liberman)・クーパー (Franklin S. Cooper) による成果によって母音のフォルマント周波数と母音図との関係が示された。

アクセント・声調・イントネーション研究は、基本周波数解析が中心である。かつての狭帯域で析出されたサウンドスペクトログラムではなく、現在ではアルゴリズムの進展に伴ってパソコン用の廉価な (あるいはフリー) ソフトが開発されている。そういったソフトを用いることで、比較的簡単に解析できるようになった。その結果、現在では音響音声学が実験音声学の中で最も普及しているといえる。

5.3. 聴覚音声学

耳や脳といった器官は内省に向いていないため、実験音声学としては最も遅れている分野といえ、多くの場合、解剖学や生理学による説明が援用される。また、器官そのものを内省できないため、知覚心理学の方法を援用した主観的かつ観察的な評価法で知覚に関する問題に取り組んできた。近年の技術革新によって、現在では脳研究が注目されている。例えば脳波計を用いて誘発脳波である事象関連電位 (ERP: event-related potential) の反応から言語音に対する知覚・認知の一端を垣間見る研究や、脳磁計を用いて音の認知が脳のどこの部位で行なわれているかを確認する研究などが進められている。

6. 実験音声学における実験とは？

これまでの節では、「実験音声学」の「音声学」に着目してきたが、最後に「実験」について若干の考察を行ない、実験音声学という分野の今後の方向性を考えていきたい。

イギリスの優生学者・遺伝学者フィッシャー (Sir Ronald Aylmer Fisher) が1920年代に農学実験を経て、統計学を応用したフィッシャーの3原則をふまえた実験計画法 (DOE: design of experiments) を提唱した。3原則とは、(1)調べる要因以外の要因を一定にする局所管理 (local control)、(2)偶然の誤差を避けるために等条件で繰り返す反復 (replication)、(3)空間的・時間的順序による影響を避けるために順序をランダムにする無作為 (randomization) の3つである。この原則に基づき、仮説検証を行なう営みが「実験」として様々な分野で定着している。

一方で実験音声学においては、ルスロ以来の伝統に従えば、音声学における記述音声学を出発点とし、主観的観察によって得られた記述的成果に対し客観的方法を用いて検証する営みが、実験音声学における「実験」である。よって、記述音声学を出発点とする以上、「先に (実験者の意図に沿う) 理論的仮説ありき」という考え方よりは「何が出てくるか分からないので確認して

みる」という考え方で行なわれる。また、基本的に未知の言語のあるがままの姿を観察するという記述を出発点とするため、必ずしも理論的仮説や統計学的処理を前提とした方法論ではない。ルスロが目指していたのは、当時の科学の現状を見渡して、生理学や音響学で実験研究が確立している中で、記述音声学に対する実験研究を確立することであった。音声を取っている以上、隣接分野に注意を払って援用すべき研究成果を参照するのは当然のことであるが、安易にそれらをそのまま受け入れるのではなく、同じ音声を取ったとしても生理学や音響学とは目的を異にする音声学において、実験音声学という分野を定着および普及させることを目指している。

実験音声学は記述音声学を出発点としているため、まず言語音に対する主観的観察（記述調査）があって、その観察による成果を再度客観的に検証（実験）することが主たる目的であり課題である。学史に照らして考えれば、広義の実験音声学として記述音声学の検証という立場があり、狭義の実験音声学として大量データが収集された後に理論的仮説の検証を行なうという立場がある、と考えるのが妥当である。

フィッシャーの古典的実験計画法は、現代でも通用する分野もあればそうでない分野（品質工学など）もあり、実験音声学においても全てを無条件に受け入れる必要はない。大量データが集まった後で行なわれる仮説検証は現状では狭義の実験音声学に相当する「音声科学」に委ねておき、「実験音声学」においてはまだまだ客観的方法が適用されていないマイナー言語に目を向けて研究を進めるのが、双方において新しい発見を生み出す可能性があり、音声研究において賢明な道の歩み方だと思われる。

7. 結語

かつてパシーは「注意深き耳に勝るものはなし」と言った。記述音声学を出発点とする実験音声学では今なお傾聴に値する発言である。しかし、耳だけで終わっては研究の完成度は低いというのがルスロの思いであろう。実験音声学は、伝統的な主観的観察と先端的な客観的観察を融合してこそ、今後の道がさらに切り拓かれるものである。

注

- (1) 食道と気管が交わるころ。
- (2) 後鼻道と推測できる。口蓋帆が咽頭壁に対し開閉することで、鼻腔に気流を通す。その際の通路が後鼻道。
- (3) 日本では、医学ではキモグラフという呼び方であるのに対し、音声学・言語学（日本語学・英語学などの個別言語学を含む）では英語読みのカイモグラフという呼び方が普及している。ここではプライオリティを尊重して“キモグラフ”とする。
- (4) パラトメトリー（palatometry）とも呼ばれる。
- (5) 塗料等を塗ることによる口腔内の不快感、塗布後に調音した後観察が終わるまで開口状態を

持続しなければならない苦痛、唾液過多などがあげられる。

- (6) 英語学者の岡倉由三郎がルスロと共同研究していた時期があり、1903年に『La Parole』から日本語のラ行について論じた「*Quelques observations sur les sons japonais.*」が公刊されている。
- (7) 口蓋の記録図をパラトグラムと呼ぶのに対し、アームフィールド (Noél Armfield) は1924年に口蓋に塗布した塗料や粉末が付着した舌の記録図をリンググラム (linguagramm) という術語を提唱した。
- (8) Pavlov Institute of Physiology (ソ連) のクズミン (Y. I. Kuzmin) によって試みられ、MIT (アメリカ) のローム (J.A. Rome) やエジンバラ大学 (イギリス) のハードキャッスル (William J. Hardcastle) などによって開発された。

参考文献

- 伊原照蓮 (1987) 「文法学と音声学—インドの学問の在り方—」『成田山仏教研究所紀要』10: 1-30
- 伊原照蓮 (1991) 「インドの音声学研究概観」東北大学印度学講座六十五周年記念論集刊行会編『インド思想における人間観：東北大学印度学講座六十五周年記念論集』3-18. 平楽学書店
- 大西雅雄 (1952) 『音声学論考』篠崎書林
- 桐谷滋・比企静雄 (1976) 「ダイナミック・パラトグラフィとその応用」『日本音響学会誌』32-5: 335-342.
- 城生佰太郎 (2005) 『日本音声学研究—実験音声学方法論考』勉誠出版
- 城生佰太郎・福盛貴弘 (2001) 「行動表現の科学」飛田良文編『日本語行動論』日本語教育学シリーズ2 おうふう
- 福盛貴弘 (2004) 『トルコ語の母音調和に関する実験音声学的研究』勉誠出版
- 福盛貴弘 (2006 a) 「調音音声学」『音の百科事典』丸善
- 福盛貴弘 (2006 b) 「聴覚音声学」『音の百科事典』丸善
- 吉沢典男 (1984) 「パラトグラフィによる音声研究について」『金田一春彦博士古稀記念論文集』2 三省堂
- Coles, J.O. (1872) On the production of articulate sound (speech). *Transactions of the Odontological Society of Great Britain*. 4: 110-123.
- Delattre, P.C., A.M. Liberman & F.S. Cooper (1951) Voyelles synthétiques à deux formantes et voyelles cardinales. *La Maîtrise Phonétique*. 96: 30-37.
- Jespersen, O. (1904) *Phonetische Grundfragen*. Leipzig & Berlin: Druck & Verlag von B. G. Teubner.

Potter, R.K., G.A. Kopp & H.Green (1947) *Visible speech*. New York : Van Nostrand Reinhold.
L'abbé Rousselot (Rousselot, J.Pierre) (1897-1901) *Principes de phonétique expérimentale*.
Paris: H. Welter.

(2007年 9 月21日受理)