

## 音程調整機構に見るゆらぎの特性

中村隆志

新潟大学人文学部 〒950-21 新潟市五十嵐2の町 8050

E-Mail: tks@geb.ge.niigata-u.ac.jp

複雑さを語る方法論として、時間の経過と共に顕現しうる予測、制御からのずれを指摘する方法が考えられる。発声における音程は、自声のフィードバックによってより安定し、それと同時にゆらぎがより大きくなる[4]。自声のフィードバック制御のある条件(条件0)とフィードバック制御が妨害された条件(条件1)での歌唱データに対して、それぞれ母音窓を切り出し、おのおのの母音窓について、基本周波数周辺でのピークの安定とゆらぎの大きさについて解析した。同じ母音の発声において、母音窓の大きさと条件0が条件1より安定する割合に線形な正の相関が見られた。また、同じ母音の発声において、母音窓の大きさと条件0の方が条件1よりゆらぎが大きくなる割合に関しても、線形な正の相関が見られた。このことは、自声のフィードバック制御のある条件で、ゆらぎの増大が基本周波数周辺のピークの安定、つまり発声における音程の安定に関与していることを示している。自声のフィードバック制御下の発声は、健常者の通常の発話行為そのものであるが、これにおいてさえ、時間の経過と共に予測、制御からのずれが顕現しうることを示される。

キーワード：ゆらぎ、複雑性、歌唱実験

## The Fluctuation in the Adjustment of Verbal Interval

Takashi NAKAMURA

Faculty of Humanities, Niigata University

8050 Igarashi-2, Niigata, 950-21, Japan

E-Mail: tks@geb.ge.niigata-u.ac.jp

The emergent difference from prediction and control with the passage of time can be pointed out, as a way to discuss complexity. The vocal interval was more stable and the fluctuation of the interval was larger in the condition with feedback control of one's own voice(Condition 0) than in the condition with obstructed feedback(Condition 1). Vowel windows were extracted from data samples of songs in the condition with feedback control of one's own voice and in the condition with obstructed feedback control. The data was analyzed to determine the stability of the peak and the amount of fluctuation of the fundamental frequency in each vowel windows of songs. A linear correlation was found between the length of vowel windows and the rate in which the vocal interval in Condition 0 is more stable than that in Condition 1 with the same vowels in the same songs. Furthermore, a linear correlation was found between the length of vowel windows and the rate in which the amount of fluctuation in Condition 0 is larger than that in Condition 1 in the same vowels in the same songs. This indicates that the fluctuation relates to the stability of the peak around fundamental frequency or the stability of the verbal interval. The condition with feedback control of one's own voice represents ordinary vocalization of a health person's. Even in the ordinary condition, indications of a difference from prediction and control can emerge with the passage of time.

Keyword : fluctuation, complexity, singing experiment

## 1:序

複雑系の研究とは個別を組み合わせて普遍を構成し、普遍の中に個別を押し込めるという従来の自然科学の方法論ではなく、逆に普遍から個別な複雑さを導くという循環的方法論に取り組んでいくものである[1]。この方法論は、宿命的に辛抱強くあらねばならないが、これまでになく展望を供する可能性は大にあるだろう[2]。一連の研究は、その多くが生命、または社会現象といった、人間を含む生物の理解に関わる対象を射程に入れている。それらの対象は他とは区別され得る特別な複雑さを有する故に問題とされているのではない。対象はいわば、一般的かつ平凡な存在である。そうでありながらも、観測者にとって予測不可能な創発性や知能を顕現させ得る存在であるという事を認めるところから、複雑系の研究は出発する。予測不可能な事態の発生を射程に入れると云うことは、時間という古くからの問題に出会うことになる[2]。

本研究では、発声、聴覚といった、時間の経過を有する行為、発声器官、感覚器官の作動を研究材料として取り上げた。一部の障害者の人々を除き、発声という行為は健常者のごく平凡な行為であり、人間社会を構成する重要な作用の一つでもある。聴覚という感覚も同様である。この当たり前でできると思われている行為の中に、大きな失敗や予測不可能な事態を引き起こしかねない作用が常に共存していることを示すことが、ここで狙いである。

## 2：ゆらぎ再考

予測、制御のパラダイムにおいて、時間発展を表す方程式の決定論的必然項から

漏れ出る部分は、偶然項として、ゆらぎまたは外部摂動の形で表される。このゆらぎ、外部摂動の積極的意義を形式化したのがプリゴジン、ハーケンである。さらに摂動の外部性を乗り越える枠組みとしてカオス理論が立てられ、これが現在の複雑系研究をもたらしている[3]。ここで、予測、制御のパラダイムを超えて、予測不可能な複雑性を語るためには、予測、制御とゆらぎの関係について再考しておく必要があるだろう。

聴覚、または発声器官は時間の経過を要する器官である。我々が口述をもってコミュニケーションを為しており、それは日々の生活の中で成功している。我々が発話する際に、何の指標もなしに声の音程を整えることができるのは、自らの声を聴覚を通して聞くことによって、フィードバック制御ができてからであるとされる。先天的聴覚障害者が声を出すことができても、音程を整えることができないことから、このことは裏打ちされる。しかし、会話途中で声が裏返ったりするなどの声の出し損じも日常の中で経験することである以上、フィードバック制御が常に成功しているとは限らない。ここで、問題になるのは、予測のパラダイムに準拠したとして、声の出し損じをもたらしたのが、ゆらぎであるならば、それが外部からのものなのか、内生のものなのかである。もし、外部由来のものならば、予測、制御のパラダイムと整合的である。しかし、もし、内生由来のものならば、音程の調整とゆらぎに何らかの相関が認められるはずであり、逆もまた真である。この時、自声のフィードバック制御はそれを失敗に導きかねない要素を内包していることになる。制御のパラダイムとの不整合が生じる。このことを確かめるため、先行研究に続き、データ解析を行った。

### 3 : 歌唱を用いた実験

中村[4]は自声のフィードバック調整が基本周波数(F0)周辺の音程を安定させるのと同時にF0周辺のゆらぎを増大させることを示した。その実験と解析を概括しておこう。

#### 3.1 : 実験手法

簡略に言うならば、異なる条件で被験者にカラオケ歌唱を歌ってもらい、それをサンプリングしてFFTで解析した、となる。異なる条件とは、

条件0 : そのまま、自声のフィードバック有りて歌唱、

条件1 : 大音響のヘッドホンを付けることで不完全ながらも自声のフィードバックを遮断したままの歌唱、

の2つの条件を示す(図1)。

図1において、被験者のヘッドホンは1 ; 音程の教示、2 ; リズムの教示、3 ; 自声のフィードバックの妨害、の3つの役割を持つ。条件0においてはカラオケ伴奏と自声のフィードバックの両方を聞かせる状況を作るため、ヘッドホンをさせて、片側のホンを耳からわずかにずらす形にした。これにより、片耳からカラオケ伴奏、もう片耳から自声のフィードバックの両方を確保する方法を採った。

サンプリングについて

1 : サンプリングレート : 44,100[Hz]

2 : サンプリング語長 : 8 bit

3 : モノラル録音

の条件下で行った。

被験者は12人で、歌唱の専門家はいない。使用した曲は結婚披露宴祝賀用のきわめてポピュラーなものを複数使用した。サンプリングされた生データを約30秒弱の大きさに揃えたものが10個得られたため、データ数は12人分で120個になる。

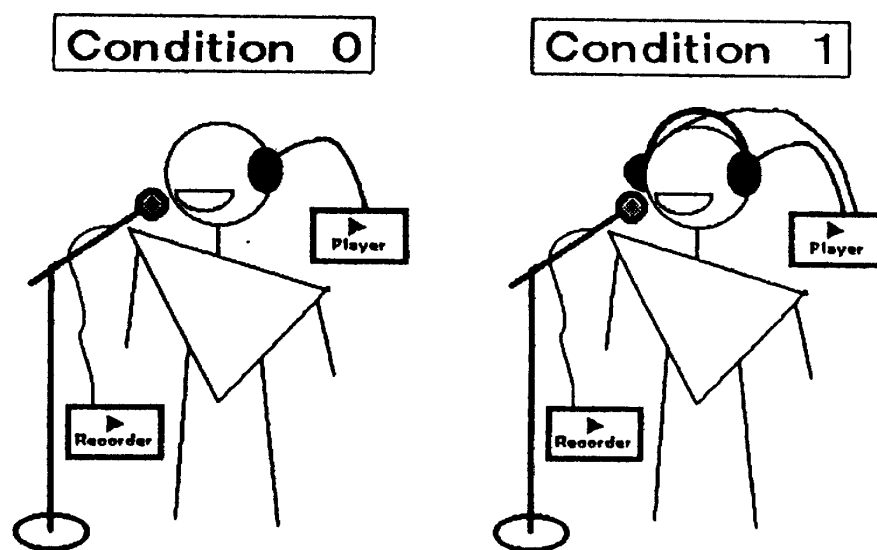


図1. Experiment Set-Up

### 3.2 : F0周辺のピーク解析

FFTは2048点ずつ行われた。FFTの結果を基に基本周波数(F0)周辺のピークの大きさ、及びピークの分散の大きさを求め、120個のデータについて各データ毎に時間を通して積算し、その結果を条件0と条件1について比べてみた。結果、F0周辺のピークの積算値について、条件0下での30秒弱分の積算値が条件1下での相当する積算値よりも高くなる割合は92.5%(=111/120)、F0周辺のピークの分散値についての条件0下での30秒弱分の積算値が条件1下での相当する積算値よりも高くなる割合は91.7%(=110/120)という値が得られた。また、分散を求める際のガウス近似の粗さを考慮して、FFTスペクトルのピークの形を定量化するもう一つの指標PTについても2つの条件を比較した。PTはピークの形が尖鋭であれば小さく、ピ

ークの形が緩穏であれば大きい値をとるよう定義されている。これにおいても、F0周辺の「条件0下の積算>条件1下の積算」となる割合は、92.5%(=111/120)となる結果が得られている。

上記の結果は次のようにまとめられる。F0周辺のピークの大きさについては条件0の方が大きくなる傾向がある。これは被験者による歌唱中のF0の音が高音に割れたり、声がひっくり返ったりすることなく、歌唱がより安定していることを示す。その一方で分散の値も条件0の方が大きい傾向がある。これはただ、歌唱が安定しているだけでなく、歌唱中のF0がより揺らぎ続けていることを示す。この2つのこと、歌唱のF0の安定とゆらぎをもたらすものが自声のフィードバック調整である。フィードバック調整のない状態においては歌唱のF0が不安定にありながら、ゆらぎが小さい。

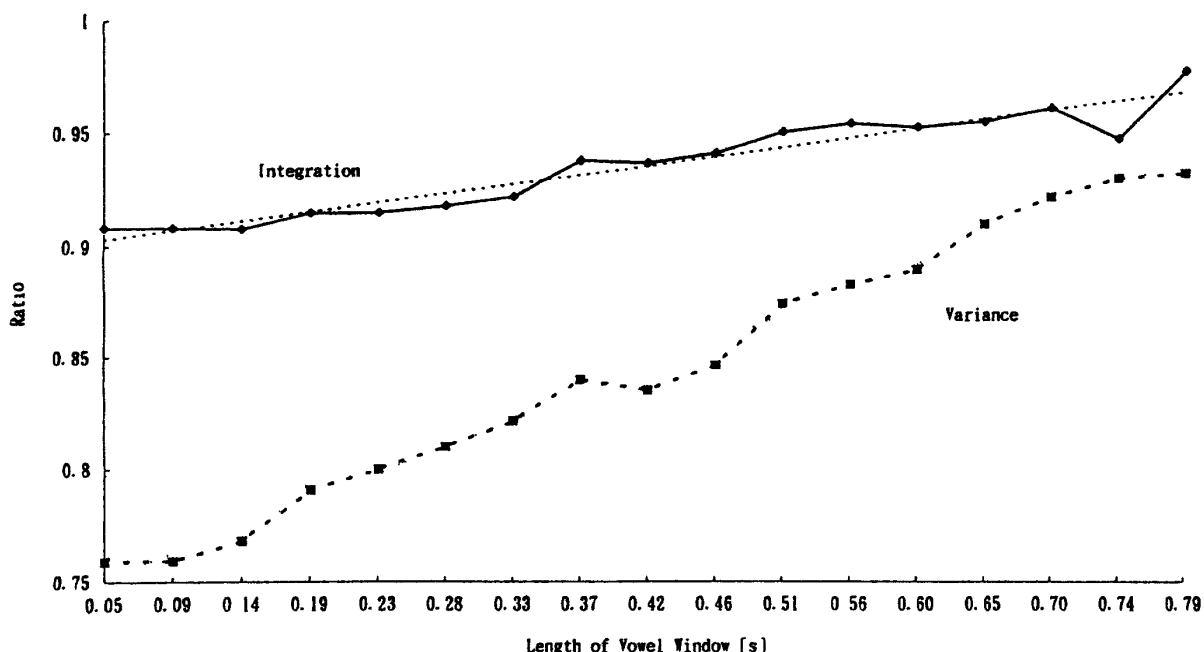


Figure 2 : Length of Vowel Window vs. Stability and Variance of F0

上記の実験解析では、より安定した状態の維持がより大きなゆらぎと共にある。しかも、そのゆらぎの大きな状態での歌唱の方が、聴取者は遥かに聞き取りやすい。健常者と障害者の人口の比率を持ち出すならば、フィードバック制御のある発声の方が歴史的に見て安定していると言っても良い。

中村[4]の解析と考察は、プリゴジン、ハーケンなどに見られる必然項と偶然項の和による安定状態への時間発展とは異なる観点をもたらす[5, 6]。次節では、時間発展を考慮に入れた解析結果を報告する。

## 4 : 母音窓の比較

上述の実験と同じ歌唱データを用いてもう一つの解析を行った。各30秒弱の120個のデータについて、母音窓を切り出し、対応する条件0と条件1の窓について、基本周波数(F0)周辺のピークの積分値とピークの分散について比較を行った。以下に具体的方法について述べる。

母音窓の切り出しはwaveデータを2048点毎を1単位として、各単位につき、最大振幅、零交差回数、中間値交差回数、各単位の次ステップとのパワー比率に対して、数居値を設けることで行った。日本語の歌は、基本的に1音素について1音符が与えられるため、各母音窓においては、1音だけが発声される。最小1単位、つまり2048/44100 $\approx$ 0.046秒のものから、最大29単位、約1.347秒まで、合計3604個の母音窓データが120個の歌唱データから得られた。これら母音窓によって切り出された区間のみについて、120個のデータ毎にF0周辺のピークの積分値と分散値を積算した結果、母音窓を切り出さずに積算した場合とほぼ、同様の結果が出た。積分値については条件0 > 条件1となる割合が98.3%(=1

18/120)、分散値については条件0 > 条件1となる割合が90.8%(=109/120)となる。

次に3604個の各母音窓について、F0周辺のピークの積分値と分散値を各母音窓毎に積算し、条件0 > 条件1となる割合と母音窓の大きさとの相関を計量した。各母音窓の大きさは2048点を1単位として単位数で求められた。ピークの積分値と分散値についての割合は、各単位数より大きい母音窓の積算で求められた。母音窓の大きさと条件0 > 条件1となる割合の相関を、ピークの積分値は実線で、分散値は波線で表して、Figure. 2に示す。Figure. 2に示すように、積分値についての割合、分散値についての割合とも、ほぼリニアな相関が得られた。分散値の方が傾きが大きい。

分散値についての条件0 > 条件1となる割合が母音窓の大きさに比例して増大することは、ある音程を持続する時間が長くなればなるほど、ゆらぎが大きくなる割合が条件0下、つまり自声のフィードバック制御がある状態の方が高くなるということである。これに連れて、F0周辺の音程が安定する割合も高くなる。この相関は、音程の安定がゆらぎと共にあるという結果に止まらない。ゆらぎが大きくなる割合が増大するに連れ、音程の安定する割合が高くなるということは、音程の維持にゆらぎが関与していることを示している。

## 5 : 考察と展望

基本周波数周辺でのピークに関して条件0の方が条件1より安定である割合いと母音窓の大きさとの線形な相関は、自声のフィードバック制御がある条件下における時間の経過とピークの安定の相関でもある。同時に、F0周辺のピークに関して条件0の方が条

件1よりゆらぎが大きくなる割合と母音窓の大きさとの線形な相関は、自声のフィードバック制御がある条件下における時間の経過とゆらぎとの相関でもある。更に両者の相関は、F0周辺のピークの安定とゆらぎとの間の正の相関でもある。音程の維持は、その音程周辺でのゆらぎによって為されるのである。

音程の維持にゆらぎが関与していることは、相克的である。ここで理解すべきことは、音程を維持する過程においてゆらぎが不可避的であると同時に、ゆらぎが音程の維持にうまく利用されていることである。この相克的な現象を捉えることが予測、制御のパラダイムからずれて、複雑性の理解を導入する意義を見出すことになる。

謝辞：普段、議論いただく神戸大学理学部、郡司幸夫先生に感謝します。また、データ採取を快く引き受けて下さった大阪市立西淀川

高校、蔭木恵教諭及びその教え子達の協力に深く感謝します。

#### 引用文献

- [1]金子邦彦：複雑系—カオスのシナリオから生命的シナリオへ—、現代思想、1996, 11.
- [2]津田一郎、松野孝一郎：複雑系のシナリオ（対談）、現代思想、1996, 11.
- [3]金子邦彦：生成と崩壊のダイナミクス、数理学、1996, 6.
- [4]中村隆志：聴覚妨害時の歌唱実験の解析、情報処理学会研究報告, 97-SLP-16, 1997（印刷中）。
- [5]G. Nicolis & I. Prigogine, "Self-organization in Nonequilibrium Systems"(Wiley, 1977), 相沢洋二訳「散逸構造論」（岩波書店、1981）。
- [6]H. Haken, "Synergetics"(Springer, 1979), 牧島邦夫・小森尚志訳「共同現象の数理」（東海大学出版会, 1980）。