

連続作業下に見られた特異な音声基本周波数の上昇

廣 島 克 佳*

Unusual rises of speech fundamental frequency observed in an Air Traffic Control job

Katuyoshi HIROSHIMA*

Values of speech fundamental frequency (F0) of an air traffic controller were measured as she was involved in an aircraft accident. Temporary increases of F0, which were not attributable to emotional responses nor other known factors were observed. Blocking, as an internal adjustment of a continuous job or increase of burden in memory may be a cause of such F0 increases.

目 的

特定場面内における音声基本周波数 (F0) の個体内継時変動は、情動的な興奮及び緊張の指標として知られて来た (5, 7, 9, 10, 12)。この性質を利用して、操縦者等が操縦を行っている場合の情動状態の推定が行われて来た。音声基本周波数の上昇原因として、叱責や聞き返し等のために大声を出す事がある。しかし、これらの原因が無いにも関わらず音声基本周波数の一時的な上昇が見られる場合があり、音声基本周波数を情動の指標とする事の妨げとなっている。

航空交通管制官の記憶の錯誤が事故要因となった際の交信記録を入手し、当該航空交通管制官の音声进行分析したところ、情動的な影響等による音声基本周波数の上昇と共に、他に理由を見いだし難い上昇が認められた。事故調査結果が公表されたため、発話者の状況も相当明白となった。また、当該管制官の業務は連続的なものであり、状況は比較的安定していると考えられた。よって、これ进行分析し、連続

作業下における音声基本周波数の上昇要因について探求を行う。

分析対象及び方法

1 分析対象

1991年2月1日18時07分 (現地時間)、アメリカ合衆国ロサンゼルス空港において、USAir1493便が北側左滑走路に着陸滑走中、離陸許可を待って滑走路上で待機していたSkywest5569便に衝突した事故において、事故前約9分間及び事故後約5分間の飛行場管制官と航空機との交信録音が、アメリカ合衆国航空局により、交信内容の書き下し文書と共に公開された。当該録音のうち、事故前の全て及び事故発生後約1分間の飛行場管制官の音声の、音声基本周波数を測定した。

2 状 況

事故の安全面からの調査が、アメリカ合衆国政府機関であるNTSB (National Transportation Safety Board) によって行われ、通常は明白な記録として残り難い、管制官及び航空機の挙動が明らか

* 航空自衛隊 航空医学実験隊
Aero Medical Laboratory, Japan Air Self-Defense Force

になった。それによると、事故の状況は次のとおりであった（1，4）。当該飛行場管制官は38歳の女性。ロサンゼルス空港は2本の滑走路が平行に走り、それら対になった滑走路が合計2組みある。当該管制官は、それらの内の24L（240度方向の左側滑走路）及び24R（240度方向の右側滑走路）と呼ばれる一組みの滑走路を担当し、離陸及び着陸する航空機を無線により管制し、離陸した航空機を飛行場管制空域の周囲にあるロサンゼルス・デパーチャーに、着陸した航空機を滑走路の外の誘導路に導き、それぞれを担当する別の管制官達に引き渡す事である。ただし、これら2本の滑走路の内、主として左側滑走路を使用していた。

当該管制官の当時の身体状態に不具合はなかった。当時の航空交通量は中程度のもので、管制官の作業負担も普通であった。天候は良好であったが、既に日没になっており各機体の位置は視認困難であった。特にSkywest5569便が滑走路に進入した付近は、管制塔からは見えにくい位置にあった。

なお、原録音は、航空管制機関が常時行っているものであり、無線電話に入電した通信及び航空交通管制官が送信スイッチを押して発話したものが全て録音されている。

3 測定方法

リオン(株)製サウンドスペクトログラフ装置SG-09によってソナグラムを採取し、ソナグラム上に認められる音声基本周波数の倍音成分から、48msec毎に音声基本周波数を測定した。サウンドスペクトログラフ装置の設定は10KHz帯域モードにて45Hzフィルターを用いた。音声基本周波数はアクセントにより常時変化している事及び発話が送信スイッチ操作により成される事から、各送信での発話開始から1.5秒毎に発話を区切り（3）、その区切り毎に平均音声基本周波数と標準偏差を求めてそれぞれの区切りの代表値とした。ただし、送信の終末部が1.5秒未満の場合及び全体の長さが1.5秒未満の送信もひとつの区切りとした。

結果及びその考察

全経過時間600秒のうち、発話時間は総計162秒であった。48m秒毎の音声基本周波数の測定点の総計は1696点、算術平均は186.1Hz（小数点以下2桁四捨五入。以下、音声基本周波数の各値において同

じ。）、標本標準偏差は27.9 Hzであった。

1.5秒毎に区切ることで得られた区切りは、138個になった。

図1-1及び2に、1.5秒毎の音声基本周波数とその標準偏差を掲示した。上段が平均値、下段がその標準偏差である。縦軸の単位はHz（ヘルツ）、横軸は時刻である。実験で繋がれた丸印は、航空機に対する送信を示し、点線でのそれは、他の管制機関とのやりとりを示すが、これらの間の周波数に特段の差は認められない

また、線で繋いだ一連の丸が、1回の送信に対応する。各回の送信の中で、概ね初頭部の音声基本周波数が最高値を示し、単調に低下していく傾向が認められる。これは、従来の研究（7）に一致している。

いくつかの点で音声基本周波数の上昇が明白なので、これらを以下に列挙し、それぞれの上昇原因について、事故調査報告書の要約（1，4）から上昇原因を推定した。

なお、当該管制官は常に3乃至7機の航空機を管制下に置き、連続して管制業務を行っていた。

（1）17時58分34秒

送信の最初の区切りで、249Hzへの上昇を示している。標本標準偏差は23.6 Hzであった。

当該送信では、着陸後の航空機に対して誘導路へ誘導する指示を行なっているものであり、特に緊張を要する、または、不測の事態により混乱や切迫を来す事態ではない。

当該部位の発声内容と同一のものは他には見られないが、初頭部の発声「Cactus」を含む点には、他に15時59分32秒、18時0分26秒、18時1分31秒の送信の各初頭部分の3点があった。これらの点は総て1.5秒の長さがあった。それぞれの点の音声基本周波数の平均と標本標準偏差は

15時49分32秒	193.8 Hz	15.3 Hz
18時0分26秒	183.7 Hz	10.4 Hz
18時1分31秒	198.7 Hz	36.9 Hz

であった。これらは3つはいずれも「Cactus four twenty nine」で始まる発話であった。「Cactus」に対応する部位の音声基本周波数の変動パターンは、17時58分34秒の発話を含めていずれも時間の経過とともに単調に低下しており、特異なアクセントを示すものはなかった。

以上のことから、「Cactus」を含んだ場合にその後続部分を含めて音声基本周波数が上昇する傾向があるとは言い難いものと考える。

(2) 18時02分39秒

228Hzに上昇しているが、その前後で上昇が見られるのはこの1点のみである。本送信は、他の管制官に対して許可を求めているものであり、会話相手が聞き返して来たのに対して復唱したものである。このため、念を押す為に高い音声基本周波数で発声したか、またはやや大きな声を出したものと思われる。

(3) 18時05分12秒～18時05分33秒

無線チャンネルを誤って切り替えた航空機が再び管制官を呼び出して来て以降、処置を行なった部位であり、不安、混乱、切迫の状態であると言える。

05分33秒の送信では、依然として高い周波数に留まっているが、誤ってチャンネルを切り替えた当該航空機に関する処置は終わっており、この送信は、離陸した別の航空機に対してのロサンゼルスデパーチャーへ無線チャンネルを切り替えさせる指示であり、情動に変調を来す事態は既に終熄している。情動的な理由による音声基本周波数の上昇は、上昇の原因となった事態が終熄しても急激には低下しないことは、従来の研究に一致している(8, 9)。この事は、当該部位における上昇が情動的なものである事を支持するものと思われる。

18時05分16秒において一時的な低下が見られるが、緊張をもたらす状態に入った際、直後に一時的に音声基本周波数が低下する現象は時に見られる現象であり、音声基本周波数の上昇をもたらす内的な状態、すなわち情動的な興奮は、一貫して継続していると考えられる。同様の現象が以下(5)に記す部位においても認め得る。

なお、誤ってチャンネルを切り換えた航空機に対する処置を行っている間、当該管制官のSkywest 5569便に関する記憶は混濁し、事故に至ったとされている(1)。

(4) 18時05分59秒

他の送信音声と異なり、次第に音声基本周波数を増加させながら、送信の末尾において249Hzへ上昇を示している。この点の標本標準偏差は45.2 Hzであった。

当該点の発話内容は「right」と言うものであった。測定点数は7点であった。複数の測定点から成る送信の末尾の点におけるサンプル数の平均は9.1点、標本標準偏差が4.7点であり、特に当該部位のサンプル数が極端に少ないとは言い難く、当該上昇をサンプルの偏りに帰し難い。また、各送信末尾の音声基本周波数の標準偏差は、音声基本周波数の平均値の減少傾向に伴って低下しており、発話の末尾で音声基本周波数を上昇させる個癖があるとも言えず、この点からも、サンプルの偏りによるものとは言い難い。

発話の末尾での「right」なる発音のみを音声基本周波数を上げて発声する個癖があるとも考え得る。「right」なる発話を末尾で行った部位が17時58分28秒にもあり、これも同様に右側滑走路24Rを指示する内容であった。この「right」における音声基本周波数は156.8Hz、標本標準偏差6.9Hz、測定点数4点であり、特段の上昇はない。また、音声基本周波数の変化パターンも18時05分59秒の場合は尻上がりに上昇するものであるのに対して、17時58分28秒のものは平坦な傾向を示し、明らかに相違がある。以上の事から、かかる個癖がある可能性は低いものと考えられる。

当該管制官は、24L及び24R滑走路のうち、24R滑走路への着陸を許可し、その直前の05分53秒には別の航空機に左側滑走路への着陸を許可している。このために特に差異を強調するために、高い音声基本周波数をもって発声したとも考えられるが、同様の処置は17時58分10秒から17時58分28秒にも行なっているが、24Rへの指示を行った発話の末尾は上述のとおり特段の特徴はなく、また当該送信全体でも特に音声基本周波数の上昇は見られず、特に当該部位においてのみ強調した発声をするべき理由に乏しい。

なお、右側滑走路へ着陸指示された航空機は既に別の管制官の管制の元にあった。すなわち、本送信は管制官の記憶の錯誤に基づくものである。

(5) 18時06分13秒～18時06分51秒

手違いにより、管制すべきことが予め通知されていなかった航空機が突然離陸許可を求めて来て以降、処置を行なった部位であり、不安や切迫の状態にあったものと言える。

なお、18時07分頃以降、事故が滑走路で発生し、事故発生を当該管制官は認識していた。このような場合は、しばしば音声基本周波数の上昇が認められるが、顕著な増加を見ていない。これは、当該管制官は自分が事故の原因となったとは全く認識していないために、上昇が認められないものと考えられる。

以上の上昇点の内、(1)から(5)の考察で情動的な興奮又は緊張状態にあったと考えられた(3)及び(5)を、図で黒丸(●)で表示した。音声基本周波数の明白な上昇を見たものの、情動又は情動以外の話し掛け等の要因では上昇が説明できなかった(1)及び(4)を、二重丸(◎)で表示した。これら以外の区切りを白丸(○)で表示した。

情動的原因により音声基本周波数が上昇したと判断した区切り(黒丸で表示した点)の総数は18点であった。これらを構成する測定点数の総数は、154点であり、その平均は194.9Hz、標本標準偏差は36.1Hzであった。

情動的原因又は呼び掛けによる大声の発声等以外の要因によって上昇したと判断した区切り(二重丸で表示した点)の総数は7点であり、それらの総測定点数は92点平均は199.2Hz、標本標準偏差は43.2Hzであった。

以上の2群を全体から除外した群(以下、除外群と称する)は、区切りの総数113、総測定点数は1450、平均は184.3Hz、標本標準偏差は25.1Hzであった。

以上の3つの群の音声基本周波数に相違があるかを見るべく、F検定及びt検定を行った。

情動的な要因による上昇群と除外群の間には、 $F=2.08$ (小数点以下3桁以下四捨五入。以下、検定に関して同じ。)で、両側5%で有意であり、分散に相違があると判断された。そこで、ウェルチの検定を行い、 $t'=3.53$ 、自由度 $\nu=169$ を得、両側5%で有意であった。即ち、情動的な要因によって音声基本周波数が上昇していると判断される群は、通常状態と考えられる群よりも音声基本周波数が上昇していると判断された。

情動的な要因又は呼び掛けによる大声の発声等以外の要因によって上昇したと判断される群と除外群の間には、 $F=3.00$ で、両側5%で有意であり、分散

に相違があると判断された。そこで、同様にウェルチの検定を行い、 $t'=3.26$ 、自由度 $\nu=162$ を得、両側5%で有意であった。

情動的な要因による上昇群と、情動的な要因又は呼び掛けによる大声の発声等以外の要因によって上昇したと判断された群の間には、 $F=1.05$ で、両側5%で有意であり、分散に相違があると判断された。そこで、ウェルチの検定を行い、 $t'=0.81$ 、自由度 $\nu=6$ を得、両側5%で有意ではなかった。

抑揚が豊富であるかを見るために、文献(11)に従い、音声基本周波数の平均を横軸に、その標準偏差を縦軸にとった(図2)。図に、併せて全測定点での回帰直線を示した。回帰式は、標準偏差 $=0.182 \times$ 平均 -16.20 であり、相関係数は、0.42であった。

図2において、情動的な要因又は呼び掛けによる大声の発声等以外の要因によって音声基本周波数が上昇したと判断した点は、回帰直線の上に4点、下に3点とやや上側に分布している。また、それらの点による回帰式は、標準偏差 $=0.089 \times$ 平均 $+8.851$ 、相関係数0.358となった。

同様に、情動が関与していると判断される発声は、上に8点、下に10点と、比較的下側に分布している。これらの点による回帰式は、標準偏差 $=0.032 \times$ 平均 $+11.489$ 、相関係数0.140となった。

これらの結果は、情動的な興奮がもたらされた場合の音声抑揚に乏しい(9)、とする考えに一致している。考察(1)及び(4)における上昇は、これらの分布からやや逸脱しており、この点からも情動によるものとは言いがたい。

なお、録音状態が必ずしも十分ではなく、発声の音圧を測定することは不可能であった。

まとめ

17時58分34秒及び18時05分59秒の二つの送信における発話全体の音声基本周波数の上昇は、情動が関与している上昇部位に比べて、平均値は検定によって差が見出されないものの、分散は大きく、一時的に大きく周波数が上昇している。また、上昇している時間は短い。音声基本周波数と緊急事態における緊急度との間には相関が認められ(2)、また、一般的に音声基本周波数と情動の水準は相関するとされるので、極めて高い音声基本周波数であることから強い情動状態であるとするならば、持続時間が長い

ことが期待されるにも拘らず、短時間の上昇で終わっている。また、これらの発話には、情動的な要因により音声基本周波数が上昇した場合よりやや抑揚が大きい傾向を見る事ができた。さらに、これらの発話の背景には、情動的な緊張又は興奮をもらす状況が認め得ない。よって、これらの発声の音声基本周波数の上昇は、情動状態の上昇に原因を帰し得ないものと考えられる。

一般に、アメリカ合衆国国民には、大きな身振りを伴って、抑揚の大きい高い声で自分の感情を強調するコミュニケーションの様式が広く見られるが、これらの送信は事務的なものであり、交信内容から見ても、かような様式に従ったものとは考え難い。

以上のことから、これら2つの発声における音声基本周波数の上昇は、情動等に原因を求め難く、他の何らかの要因によるものであると思われる。

これらの発声は、比較的使用頻度が低い24R（右側滑走路）を使用する許可を出す際及びその直後に見られる。このため、記憶負荷の上昇に伴う現象である可能性が考え得る。

また、航空交通管制官の業務は、一方的に対象に働きかけるものではなく、相手の挙動を待つ面があるが、目標遂行活動であり作業であると言える。本事例での航空交通管制官は殆ど連続的に発声しつつ管制を行っており、内的な準備状態を常時維持しなければならないものと言え、この面からも、作業的な性格が強い業務であると言える。作業においては、内的な調整活動が存在し、ブロッキング等によって調整が行われるとされる（6）。これら2つの発声での高い音声基本周波数を示した部位は、聴取においていずれもやや間延びして聞こえ、音素の持続時間が長く、一種のブロッキングであるように見える。よって、これらの音声基本周波数の上昇は作業の調整過程に伴う現象である可能性もあるものと思われる。

概 要

ある航空交通管制官の記憶の錯誤が関与した航空事故における、当該航空交通管制官の事故当時の音声基本周波数を測定した。情動等、既知の理由によるものとは言い難い、短時間の音声基本周波数の上昇があった。

謝 辞

本録音及び管制記録を提供頂いた本保見氏（日本放送協会）に感謝の意を表します。

文 献

- 1) FLIGHT SAFETY 編集部. USair B737夕暮れのロサンゼルス国際空港着陸時インターセクション・デパーチャー待ちのスカイウエスト航空メトロライナーに衝突。滑走路逸脱、両機共に炎上。FLIGHT SAFETY（日本航空）June 1992 No. 82.
- 2) 藤原治 岡村紀子 宇津木成介 黒田勲. 緊急時における音声変容の研究（第3報）—航空機事故状況の推移に伴う音声変化の標準化について。航空医学実験隊報告, 1976, 17(1), 9-16.
- 3) 藤原治 宇津木成介. 緊急時における音声変容の研究（第5報）—音声基本周波数増加の限界。航空医学実験隊報告, 1980, 21(4), 217-228.
- 4) 航空管制誌編集部 航空管制と管制用語の研究—その1—Runway Incursion. 航空管制, 1992, 1, 22-29.
- 5) Liberman, P. Perturbations in Vocal Pitch. J. of The Acoust. Soc. Amer., 1961, 3, 597-603.
- 6) 望月享子 作業経過の心理学—ブロッキングによる方略と調整の過程 東海大学出版会 1985.
- 7) 丹羽聖尚 緊急時における音声変容の研究（1）—音声の内容から見た発声者の心理変動の推定について。航空医学実験隊報告 1970, 11(1), 51-58.
- 8) 丹羽聖尚 緊急時における音声変容の研究（2）—心理的ストレス下における実験結果と実飛行記録の結果における音声のVibration space analysis(VSA) 航空医学実験隊報告 1971, 11(4), 246-251.
- 9) Попов, В. А. Симонов, М. В. Фролов, М. В. Хацатуриянц, Л. С., Ощая Физиология головного мозга. Журнал Высшей Нервной Деятельности, ТОМXXI, 1971, 104-109.
- 10) Potter, R. K. et al. Visible speech. D. Van Nostrand Company Inc, Princeton New York 1947.
- 11) 宇津木成介 岡村紀子 情動と音声基本周波数の関係について 航空医学実験隊報告 1976, 16(4), 179-188.
- 12) Williams, C. Stevens, K. N. On determining the emotional state of pilots during flight: An exploratory study. Aerospace Medicine, Dec. 1969, 1369-1372.

付 録

音声基本周波数の上昇を示した送信及びその前後の発話内容

それぞれ、送信開始時刻、送信者及び発話内容の順に記した。

送信者の欄に●印をつけたものが、議論において情動を伴い音声基本周波数の上昇が見られるとした発声であり、□印をつけたものが、話者が強調のために意図的に音声基本周波数を上昇させたとした発声であり、◎印をつけたものが、これらいずれの原因にも依らない特異な音声基本周波数の上昇であるとした発声である。

点線（…）は、この間に表記以外の発信が成されていることを示す。

…		
17:58'28"	管制官	Phillipine one zero two,heavy Los-Angeles tower, wind two four zero at six cleared to land runway two four right.
17:58'33"	PAL102	One zero two.
17:58'34"	◎管制官	Cactus thirty seven, if able turn left first available high speed. Contact Ground point six five when off the runway traffic on a mile and half final behind you.
17:58'40"	AWE37	Thirty seven wilco.
…		
18:02'39"	他の管制官	Say again local two.
18:02'39"	□管制官	Request ah, two seventy Skywest.
18:02'42"	他の管制官	On who Skywest who.
…		
18:05'09"	WWM5006	(内容不明) on frequency again changed radios. Sorry about that.
18:05'12"	●管制官	Five thousand six you're back with me.
18:05'14"	WWM5006	Yeah and we didnt mean to switch radios we're now on.
18:05'16"	●管制官	Okay, I thought I lost you taxi (内容不明) runway two four contact Ground point six five when off the runway traffic will hold in position.
18:05'21"	WWM5006	Great and we thought we lost you we apologize.
18:05'23"	●管制官	No problem. Sundance five eighteen taxi across runway two four left contact Ground point six five when off the runway good night.
18:05'29"	USA1493	Us air fourteen ninety three for the left side two four left.
18:05'33"	●管制官	Skywest two fourty six heading two seven zero contact Los-Angeles departure good night.
18:05'36"	SKW246	Two forty six good night.
…		
18:05'58"	USA2858	Twenty eight fifty eights for the right five miles.
18:05'59"	◎管制官	Us air twenty eight fifty eight wind two three zero at eight cleared to land runway two four right.
18:06'04"	USA2858	Cleared to land.
18:06'08"	WWM5072	Tower,Wings west fifty seventy two is ready for take off.
18:06'13"	●管制官	Wings fifty seventy two.
18:06'15"	WWM5072	Affirmative.
18:06'17"	●管制官	Wings fifty seventy two you at forty seven or full length.
18:06'20"	WWM5072	We are full length.
18:06'21"	●管制官	Okay.
18:06'26"	●管制官	Hold Short.

18:06'28" WWM5072 Roger holding short.
18:06'30" ●管制官 Wings fifty seventy two say your squawk.
18:06'33" WWM5072 Forty six fifty three.
18:06'46" WWM5212 Los-Angeles tower Wings west fifty two twelve with you on the visual
two four right.
18:06'51" 他の管制官 Of runway two five right.
18:06'51" ●管制官 Flipper.
18:06'54" (不明) Cross the left hold short of the right alpha air one zero.

...
