

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19500155

研究課題名（和文） 声の老化に関する音響学的、生理学的及び知覚心理学的研究

研究課題名（英文） Study on vocal aging from acoustical, physiological and perceptual viewpoints

研究代表者

粕谷 英樹 (KASUYA HIDEKI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・名誉教授

研究者番号：20006240

研究成果の概要（和文）： 声の基本的な音響パラメータが、加齢に伴ってどのように変化するかについて、共時的（cross-sectional）ならびに通時的（longitudinal）観点から研究を行った。音響パラメータは、基本周波数（ F_0 ）、ジッタ、シマ、喉頭雑音などであった。通時的な研究では、10年から18年にわたって収録された、喉頭に異常のない男性20名、女性38名が発声した日本語持続母音 /a/ を分析した。統計的分析を行って以下のような結論を得た。1)個人差が非常に大きい、2) F_0 の下降は男性より女性に特徴的であり、過去に指摘されたことのある男性の F_0 上昇は認められない、3)ジッタよりシマの増大の方が加齢に伴う特徴である、4)高周波数領域における喉頭雑音は加齢に伴って増加する傾向にある。133名の男性と129名の女性を用いた共時的研究でも類似の結果を得た。一方、合成音声を用いた知覚研究では、 F_0 、ジッタ、シマよりは、ピッチレンジ、話速、スペクトル傾斜特性の方がより年齢知覚に寄与することがわかった。

研究成果の概要（英文）： Cross-sectional and longitudinal study was performed to investigate age-related changes of selected voice source parameters: fundamental frequency (F_0), jitter, shimmer, glottal noise energy, and so on. In the longitudinal study, acoustic analyses were made on the sustained phonation of the Japanese vowel /a/ of 20 males and 38 females with no laryngeal disease, which were recorded over periods ranging from 10 to 18 years. The statistical analyses revealed that: 1) strong individuality existed for significant longitudinal changes in the acoustic parameters, 2) F_0 falling is a more emblematic tendency of vocal aging of females than males, while F_0 rising, which has been pointed out in the previous reports for males, was not found, 3) shimmer is a more observable indication of vocal aging than jitter, and 4) glottal noise in a high-frequency region tends to increase with aging. The cross sectional study based on 133 males and 129 females showed a similar age-related tendency of the acoustic parameters. Perceptual study based on synthetic sentence speech samples, on the other hand, showed that pitch range, speaking rate and spectral tilt are more salient parameters for the perception of speaker's age than average F_0 , jitter and shimmer.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：音声言語科学・音声言語医学

科研費の分科・細目：情報学 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：声の老化，高齢者音声，声質

1. 研究開始当初の背景

高齢社会の進展につれて，“加齢”に伴う幅広い課題が浮き彫りになり，その解決に向けて，医学・生理学的，社会的，あるいは，心理学的な研究が加速している．音声言語によるコミュニケーションにおいても例外ではなく，加齢に伴って多様な音声言語障害が出現するが，加齢に伴う自然で健康な音声言語現象の変化を，十分把握しないままに，障害の診断や治療はできない．

一方，今後，高齢者が種々の音声言語を利用した情報・福祉機器（音声認識，音声合成，音声圧縮技術などの応用機器）に接する機会が，従来に比べて飛躍的に増えるものと推察されるが，高齢者の音声言語の音響的性質が十分把握されないままに，限られた音声資料に基づいて設計・製作された情報機器の利用に，不便を来したり操作性に問題が発生したりしないか，懸念される．デジタルデバイスが情報化社会において最小限に抑える必要がある．

声の老化（vocal aging）については社会的にも関心が深い．特に，歌手，俳優（声優）やアナウンサーなどの声を職業とする人々や，若々しい声を維持したいという女性の強い関心に促されて，テレビ，ラジオ，新聞，雑誌などのマスメディアが，声の老化を頻りに話題にしたり，巷には，必ずしも科学的根拠に基づいているとは言えないような，声の訓練法が横行したりしている．

このような社会的背景のもとでは，加齢と音声の関係を，音響学的，生理学的，知覚心理学的観点から，総合的に明らかにすることは，学術的にも大きな意義があると考えられる．

加齢に伴う声の変化については，古くから多くの関心を集めてきた（例えば，*Journal of Voice* の創刊号の特集，Vol.1, No.1, 1987 や Linville, S.E.による著書“Vocal Aging,” Singular, 2001）．それらは，呼吸器系，喉頭部位，喉頭上部系（調音器官）などの生理学的・解剖学的な加齢変化を基礎にしなが，呼吸，声帯機能，調音機能，話速，音響特徴，加齢音声（aging voice）の知覚，などの観点から研究されてきた．しかし，一般的な老化現象はもろろんのこと，声の老化現象も個人差が非常に大きいと推測されるので，少ない資料に基づいて一般的な結論を導き出すことは危険である．一方，声の老化は話者の職業，生活環境，喫煙習慣などの生活要因とも関係すると推測されるので，資料の量的確保と話

者の質的要因の制御が欠かせない．過去の研究報告で見られる結果や見解の違いの多くは，このような要因に対する配慮が不足していることに起因すると考えられる．

2. 研究の目的

健常者の加齢と声の変化を調査した研究は決して少なくないが，本研究のように，音源・声道に関するいろいろな音響特徴と加齢との関係を，多数の資料に基づいて総合的に調査研究する例は，世界的にも例がない．標本数は過去に一番多い報告に比べても，10倍以上であり，しかも同一話者の音声を20年以上にわたって追跡し，加齢による変化を調べた例は見当たらない．さらに，音声合成の手法によって，加齢に関する生理学的な機序との関係や知覚による声年齢（perceived vocal age）との関係を研究した例は少ない．「声の老化」のように，社会的関心の高い課題について，多数の標本に基づいた信頼性の高いデータを具備していることが，文化国家としての必要条件であると言っても過言ではない．

本研究では，多数の音声資料に基づいて，1)加齢と音声の音響特徴である音源・調音の特性及び話速との関係を分析的に明らかにし，2) その関係を医学・生理学的に解釈し，3)音声合成のシミュレーションによって解釈の妥当性を検証するとともに，4) 知覚心理学的な観点から声の老化に関する音響的関連量を明らかにすることによって，声の老化に関する総合的理解を深めたい．

3. 研究の方法

研究代表者らは，1982年以來25年以上にわたって，北海道北部の耳鼻咽喉科医の手薄な地域住民を対象にして，自治体の協力の下に「音声情報による喉頭がんのスクリーニング」を試行してきた．毎年平均，約900名の受診者があるので，受診者総数は全体で延べ20,000名を超える．収録した音声標本の中には，同一話者が20年以上にわたって収録されている例もある．

本研究課題では，若年層も含めた多数の話者からなるデータコーパスを整備する．さらに，10年以上にわたって収録されている話者を選出して，別のデータコーパスとして整備する．声の老化は，質的量的に個人差が大きいため，多数標本による調査研究が必須である．

その上でまず、音声の基本的な音響特徴である、声門音源波に関する平均基本周波数（ピッチ）、ピッチレンジ、フレーズ成分に相当するピッチ下降量、平均スペクトル特性、ジッタ・シマ特性、喉頭雑音特性などを、次に喉頭上部構造（声道）の特性に関するフォルマントの静的・動的特徴量を計測し、それらと同一話者の加齢との関係、及び異なる話者も含めた全体的な加齢との関係について明らかにする。

このような種々の音源・声道に関する音響特徴量と加齢との関係について、生理学的な観点から解釈し、それに基づいて音声合成シミュレーションによって、解釈の妥当性を検証する。また、自然音声及び合成音の知覚心理的実験によって、「声の老化」の音響関連量を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 声の年齢変化の共時的研究

多くの関心が寄せられている音声の基本周波数（短文中の“私の名前は”の名前/namaewa/の第2モーラ目の母音[a]区間の平均値）と年齢との関係を、男性話者については6歳代から90歳代までの1,173名、女性についても同じ年齢層の1,196名について調査した。いずれの話者も喉頭に異常はない。結果を図1に示す。

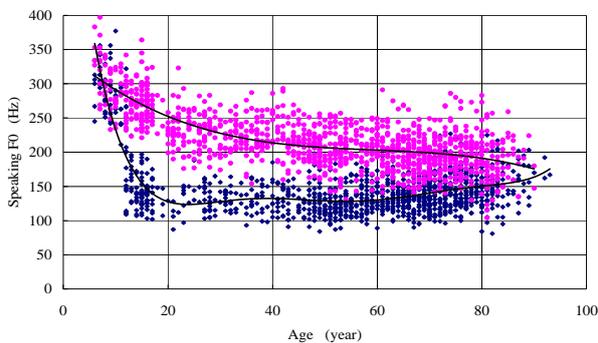


図1 F_0 と年齢の関係（青：男性、ピンク：女性）

図の青色の点は男性、ピンク色は女性である。基本周波数を F_0 [Hz]、年齢を x 歳とすると、男女の加齢と基本周波数との間の回帰多項式は、それぞれ以下のように与えられる。

男性：

$$F_0 = 4E-08x^6 - 1E-05x^5 + 0.0019x^4 - 0.128x^3 + 4.6606x^2 - 84.716x + 724.8 \text{ [Hz]}$$

女性：

$$F_0 = -0.0006x^3 + 0.1075x^2 - 6.687x + 347.85$$

男性では変声期における急激な F_0 の下降を表現するために、6次式になっている。女性の F_0 は、若年齢では急な、高年齢では緩やかな勾配ではあるものの、年齢とともに単調に下降する。一方、男性では、変声期（12歳～13歳）で急激に下降し、その後50代後半ま

ではほとんど変化せず、60歳代から緩やかに上昇する。6～8歳では男女の性差はそれほどではないが、変声期を経て性差が拡大し、その後80歳代後半からまた性差がほとんどなくなる。研究代表者らの約40年前の若年層の F_0 に関する類似の調査と比べると、変声期は約1年早まっていることも分かった。

喉頭の器質的あるいは運動性の障害を認めない19～29歳の男性100名（平均年齢21.5歳）と19～31歳の女性100名（平均年齢21.3歳）を男女青年群とし、61～78歳の男性33名（平均年齢68.5歳）と60～76歳の女性29名（平均66.1歳）を男女老年群として、24種類の音響パラメータの加齢に伴う変化について調査・考察した。

青年・老年の2群間で比較した結果、男性では F_0 の上昇、声門音源波のジッタ及びシマの上昇、及びトレモロ指数（震え）の上昇が観察された。一方、女性では、 F_0 の下降、喉頭雑音の増大、トレモロ指数の上昇が見られたが、声門音源波のジッタとシマについては有意な変化は認められなかった[雑誌論文1]。

(2) 声の年齢変化の通時的研究

スクリーニング実験で収録した音声標本の中から、喉頭に病変のない健常話者で、10年以上にわたって5回以上音声を収録している男性20名、女性38名を選出した。合計59名の各話者が5回発声した持続母音[a]について、 F_0 、ジッタ（PPQ [%]）、シマ（APQ [%]）、2種類の規格化喉頭雑音量（ $NNEa$ 、 $NNEb$ ）を測定した。ここで、 $NNEa$ は全周波数帯域における音声エネルギーに対する喉頭雑音のエネルギーの割合 [%] であり、 $NNEb$ は1.5 kHz以上の高周波数帯域における同様のエネルギーの割合である。1名の女性の F_0 と $NNEb$ の年齢変化の例をそれぞれ図2(a)、(b)に示す。この例では、回帰直線の勾配はいずれも統計的に有意である。 F_0 は年齢とともに下降し、 $NNEb$ は上昇する。

男性20名、女性38名の話者の中で、回帰直線の勾配が統計的に有意な話者数を、収録開始年齢別に、表1(a)、(b)に示す。

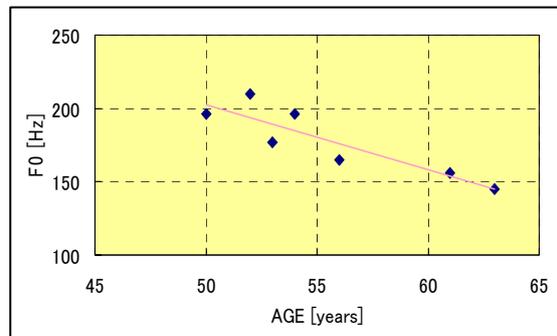


図2(a) F_0 と年齢との関係の例（女性）。

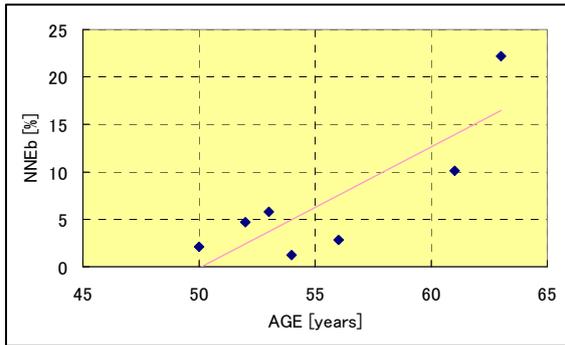


図 2(b) *NNEb* と年齢との関係の例 (女性)。

表 1(a) 5 種類の音響パラメータの年齢変化の回帰直線の勾配が統計的に有意な男性話者数。負勾配の話者数は内数で括弧内に示す。

Starting age	Number	F_0	<i>PPQ</i>	<i>APQ</i>	<i>NNEa</i>	<i>NNEb</i>
30s	4	2(2)		1		3
40s	10		3(3)	4	2(1)	4
50s	16	6(6)	1	5	1	7
60s	7	2(2)	2(1)	1	2(1)	
70s	1					
Total	38	10 (10)	6(4)	11	5(2)	14

表 1(b) 話者が女性である以外は表 1(a)と同じ。

Starting age	Number	F_0	<i>PPQ</i>	<i>APQ</i>	<i>NNEa</i>	<i>NNEb</i>
40s	3					1
50s	6	1(1)		2		1
60s	8	1(1)		3	1	5
70s	3					
Total	20	2(2)	0	5	1	7

この表からいえることをまとめる。1) 音響パラメータの年齢変化には大きな個人差が存在し、加齢とともに有意な変化を示す話者数はそれほど多いわけではない。この事実は共時的な研究、例えば図 1 の同一年齢での分布の比較的大きな広がりとも対応する。2) F_0 下降は女性に特徴的であり、共時的調査と一致する。また、過去の米国の研究で、男性では 50 歳代から上昇するとの調査があるが、本研究ではそのような傾向は観察されなかった。ただ収録回数が少ないために今回の調査対象から除かれた話者のなかには、70 歳代から

上昇に転ずる例が数例見られた。スクリーニング実験は現在も継続しているので、標本数を増やして、この件については今後、慎重に見極めたい。3) ジッタ (*PPQ*) は年齢変化に対して比較的安定であるが、シマ (*APQ*) は加齢に伴って増大する話者が多い。共時的な調査ではジッタも加齢とともに増加する結果を得たが、この理由は今後の検討課題である。4) 高周波数帯域における雑音量 (*NNEb*) は加齢に伴って増大する。一部の男性話者については、喫煙習慣の有無、職業が農業、漁業、その他の区別によって声の年齢変化について一定の傾向が見られるか調査したが、統計的に有意な結果は得られなかった[学会発表 1, 2, 5, 6, 7, 8]。

加齢に伴う声道の生理的・解剖学的構造の変化その反映としての音響的变化については、現在も研究を継続しているので、まとめ次第、学会等で発表する予定である。

(3) 喉頭の生理学的な年齢変化との関係

加齢に伴う喉頭の生理的な変化としては、男性では声帯の弓状化、萎縮、声帯溝形成などが、また女性にあつては、浮腫が生じる傾向があることが知られている。一方、神経・筋系では、喉頭調節機能の低下、内分泌系の老化などが見られる。

女性の共時的および通時的調査で観察された F_0 の下降は、加齢に伴う声帯の浮腫性傾向が主な要因と考えられる。

(4) 話者の年齢知覚に関する研究

成人男性を例にとり、115 話者の短文音声を取らせ、話者の年齢を推定する知覚実験を行った結果を図 3 に示す。実線は回帰直線であるが、実年齢 35 歳を境にして、それより年齢が低い場合は実年齢より高めに、また高い場合は実年齢より低めに推定されている。音声から推定した年齢 (声年齢, voice age) に関する音響パラメータをグラフィカルモデリング法で分析した結果、短文の F_0 曲線 (年齢とともにピッチレンジが狭くなる)、話速 (年齢とともに遅くなる)、声門音源波のスペクトル傾斜 (年齢とともに傾斜が大きくなる) が抽出された。 F_0 曲線の傾斜特性と話速を制御した合成音声を用いて知覚実験を行った結果、分析結果と同様に、両者の年齢知覚への効果が確認された。男性の場合、ジッタ、シマ、 F_0 値と声年齢とは有意な関係にはないことが、我々の過去の研究で分かっている。これまでジッタ・シマなどの増大が知覚心理的な声年齢の評価に影響しているとする報告が少なくないが、それは呼吸器系・喉頭などの老化に伴う変化、特に男性声帯の萎縮、弓状化や溝形成などの「喉頭病変の話者が増大する」ことに起因するもので、健常範囲では特に年齢の心理的評価に影響

を与えるものではないことを意味している。(2)で述べた通時的な研究成果で述べたように、年齢とシマとが有意な関係にある話者は全体の25%に過ぎないことにも対応している。

なお、“老けた/若い”という聴覚印象を含む話者の声質の記憶の保持に関する研究も行い、特徴ある話者の声質をもつ発話は、長期間にわたって保持されるが、平均的な音声では短期間の内に曖昧になってくることなども明らかにした〔雑誌論文2；学会発表3,4,9〕。

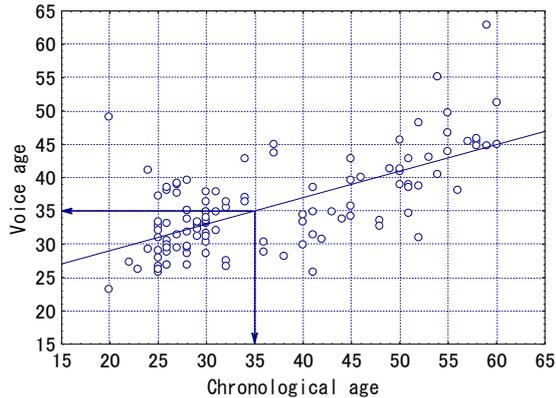


図3 実年齢（横軸）と音声聴取による推定した声年齢（縦軸）。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

1. 西尾正輝, 田中康博, 新美成二, “加齢に伴う音声の変化”, 音声言語医学, 50巻, 2009, pp. 6-13. (査読有)
2. 木戸博, 粕谷英樹, “音声の内包する話者の特徴情報の記憶”, 音声研究, 13巻, 2009, pp. 4-16. (査読有)

〔学会発表〕（計9件）

1. Kasuya, H., Yoshida, H., Ebihara, S., Mori, H., “Longitudinal changes of selected voice source parameters,” INTERSPEECH2010, Sept., 2010, Makuhari Messe Int. Conf. Hall (Chiba, Japan). (査読有)
2. Kasuya, H., Yoshida, H., Ebihara, S., Mori, H., “Age-related changes in selected voice source parameters of males: a longitudinal study,” The 4th World Voice Congress, Sept., 2010, COEX Seoul (Seoul, Korea). (査読有)
3. 木戸博, 布柴靖枝, 粕谷英樹, “話者識別に影響を及ぼす聴取者側の要因に関する一考察”, 音響学会, 2009年9月17日, 日本大学工学部 (郡山市).
4. 木戸博, 粕谷英樹, “声質と話者識別率の関連についての一考察”, 音響学会, 2009

年3月18日, 東京工業大学 (東京都目黒区大岡山).

5. 粕谷英樹, “声の老化—F0, ジッタ, シマ, 喉頭雑音の変化”, 音声言語医学会学術講演会, 2008年10月24日, 三原市芸術文化センター (広島県三原市).
6. Kasuya, H., Yoshida, H., Mori, H., Kido, H., “A longitudinal study on vocal aging,” Acoustics’08, July 2nd, 2008, Palais des Congres (Paris, France). (査読有)
7. 粕谷英樹, 森大毅, 木戸博, 吉田肇, “声の老化—声門音源波の不規則成分の変化”, 2008年3月19日, 千葉工業大学 (習志野市).
8. 粕谷英樹, 森大毅, 木戸博, 吉田肇, “声の老化—基本周波数の変化”, 2007年9月21日, 山梨大学 (甲府市).
9. 木戸博, 粕谷英樹, “個人性に着目した記憶に残る声質”, 2007年9月19日, 山梨大学 (甲府市).

〔図書〕（計2件）

1. 粕谷英樹, 声の音響分析 (日本音声言語医学会編, 「新編 声の検査法」第6章), 医歯薬出版, 2009, pp. 210-234.
2. 新美成二, 発声の物理 (日本音声言語医学会編, 「新編 声の検査法」第1章5節), 医歯薬出版, 2009, pp. 27-32.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

粕谷 英樹 (KASUYA HIDEKI)
宇都宮大学・大学院工学研究科・名誉教授
研究者番号：20006240

(2) 研究分担者

新美 成二 (NIIMI SEIJI)
国際医療福祉大学・保健医療学部・教授
研究者番号：00010273

森 大毅 (MORI HIROKI)
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：10302184

木戸 博 (KIDO HIROSHI)
東北工業大学・工学部・准教授
研究者番号：00356172 (2007年度)

(3) 連携研究者

木戸 博 (KIDO HIROSHI)
東北工業大学・工学部・准教授
研究者番号：00356172 (2008-2009年度)