

顔の運動と観察の向きが知覚年齢に及ぼす影響の研究

Study of the influence of facial movement and viewpoints on age perception

工学院大学大学院 工学研究科
情報学専攻 博士後期課程 黒住 元紀

本論文は、他者の顔に対する知覚年齢において顔の運動と観察の向きの影響を実験的に検討した成果をまとめたものである。

日常のふとした瞬間に、家族や友人の顔を見て老けたと感じる、もしくは若々しく感じた経験はあるだろうか。実年齢を知る友人や家族であるにも関わらず、彼らの知覚年齢が生活上の様々なシーンで異なることを私たちは経験している。

顔は社会生活を送る人間にとって重要な情報源である。人間の顔情報は、性別や人種といった不変的な個人的属性、年齢や性格といった緩やかに変化する属性、感情や興味といった速やかに変化する属性を表している。そして、人間はこれら属性情報を活用することで社会生活をより円滑に営んでいる。人間は顔を物体とは独立した脳内システムで処理することで高感度にその特徴を識別し様々な印象形成に用いることも知られており、この適応的な能力は人間にとって顔が重要であることを良く示唆している。

一方で、日常における対人印象は顔という情報の発信側と受信側の動的なインタラクションにより形成される。発信側の動的状態としては、会話中に代表される表情や発語により顔が運動した状態（顔の非剛体的運動）が存在する。また受信側の動的状態としては、発信側の顔をどういった方向から捉えるか、すなわち顔の観察方向の要因（顔の剛体的運動）が存在する。これら顔の非剛体的・剛体的運動が冒頭で示した知覚年齢の違いを生じる一因であると考えられる。

しかしながら、顔の知覚年齢に関する先行研究は主に静止した正面顔といった動的特性を考慮しない顔の一側面を対象に実施されてきた。具体的には、幼少期の成長過程において生じる頭部骨格のカージオイド変形やそれに伴う目鼻口の布置関係の変化が知覚年齢に影響することが明らかにされてきた。また、青年期以降の老化過程で生じる皮膚の肌理・シワ・たるみに代表される形態変化やシミや色むらに代表される色調変化、頭髮の白髪化や脱落、骨格の左右非対称性の増加についても知覚年齢に影響することが明らかにされてきた。一方で、冒頭で触れた日常における知覚年齢が変化する事例は、これまでの静止した正面顔を対象とした研究の限界を示唆している。

そこで本研究では、知覚年齢における顔の運動および観察方向の影響を実験的に検討する。年齢という属性は、変化が緩やかで、かつ一方向の変化である。だからこそ、その印象形成に関わる要因を理解することは、いつまでも若々しくあるための方策の提案に資すると考える。さらに、本研究では知覚年齢の改善策へと繋げるために、印象の要因となる顔領域、皮膚の動的状態、および皮膚の動的状態を生じる皮膚内部状態の同定を実施する。

以下に、各章の概要を示す。

第1章「序論：顔の老化研究と知覚年齢に関する実験的研究の概観」

本章においては序論として、知覚年齢に関する先行研究を概観し本研究の位置づけについて述べた。まず、顔情報の発信側の観点から顔の外観的特徴の加齢変化を整理した。次に、顔情報の受信側の観点から顔知覚における視覚情報の処理過程に関する先行研究の知見を整理した。続いて、顔情報の発信側と受信側双方の観点から知覚年齢に關与する外観的特徴について整理した。最後に、先行研究では研究対象の条件が静止した正面顔という実生活環境と比較して限定的であるという課題を示し、本研究の目的である知覚年齢に対する顔の運動と観察の向きの検証の必要性を示した。

第2章「実験的検討概要：顔の運動が知覚年齢に及ぼす影響」

第3章および第4章で実施する顔の運動が知覚年齢に及ぼす影響に関する実験的検討の概要を述べた。

第3章「実験的検討：表情表出時の皮膚の動的特性が顔印象に及ぼす影響」

知覚年齢に対する皮膚表面の動的特性の影響を実験的に検討した。実験3-1では、知覚年齢実験により、顔運動の有無を操作した視覚刺激を用いて知覚年齢に対する顔運動の影響を調査した。加えて、年齢判断している最中の観察者の視線を計測することで年齢印象に寄与する顔の領域を特定した。その結果、顔の運動は知覚年齢に影響しモデル年齢が増加することで知覚年齢が増大することを確認した。また、観察者は年齢を頬部情報から判断している可能性が示唆された。実験3-2では、実験3-1で特定された年齢判断に重要な顔領域（頬領域）について、モデル年齢の増加に伴い知覚年齢が増大する原因を明らかにするためにモデルの頬部皮膚表面の動的特性を計測し、その加齢変化を調査した。その結果、加齢に伴い頬部皮膚表面の運動が表情表出に対して遅延すること、および頬部下部の伸縮性が低下することを確認した。実験3-3では、加齢に伴い生じる「頬部運動の遅延」という情報に注目し、同情報を人間が検知可能であるかについて検証を行った。その結果、人が他者の顔動作（開口運動）を観察する上で、加齢により生じる微少な頬部運動の遅延を知覚可能であり、非顔刺激と比べて顔刺激で遅延検出感度が高くなることが確認された。したがって、頬部の遅延情報は顔情報処理過程で特異的に処理される可能性が示唆された。実験3-4では、実験3-3で確認した人間が十分知覚できる頬部の遅延量を付与したワイヤーフレームの顔刺激を用いて、頬部の遅延情報が顔から受ける年齢、魅力、感情（活動性および快不快）の印象に与える影響について調査した。その結果、加齢で生じる頬部遅延は直接的な“年齢”印象に有意な影響は確認されないものの、モデル顔から知覚される魅力度や快感情を低下することで対人印象を悪化する可能性が示された。本結果から、知覚年齢においてはワイヤーフレームでは表現できない皮膚のシワやたるみといった表面テクスチャの運動による見え方が寄与することが考察できた。本章の結果から、加齢に伴い生じる頬部皮膚の運動の遅延が知覚年齢の増加をはじめとする対人印象悪化の要因となることが示唆された。

第4章「実験的検討：表情表出時の皮膚の動的特性に対する皮膚内部要因の影響」

第3章で確認された加齢に伴う皮膚表面の動的特性の要因となる皮膚内部状態を明らかにするために、皮膚内部状態の計測学的検討を実施した。実験4-1では、皮膚表面の動的特性への寄与が想定される皮膚内部の粘弾物性を計測し、その加齢変化およびBody Mass Index（BMI）との関係性を調査した。その結

果、真皮下層の粘弾性が加齢とともに低下すること、皮下組織上層の粘弾性は、加齢とともに低下し BMI が高くなると増加することが示された。実験 4-2 では、本論文で確認された加齢に伴う皮膚表面の遅延量の増加(実験 3-2)と皮下組織上層の粘弾性の低下(実験 4-1)との関係性を確認するために、両実験を実施した被験者を対象として、皮膚表面の遅延量と皮下組織上層の粘弾性との間の相関性を確認した。その結果、皮膚表面の遅延量と皮下組織上層の粘弾性との間に有意な相関関係を確認した。実験 4-3 では、皮膚表面の遅延の要因が皮下組織上層の粘弾性低下であることを明らかにするために、実験 4-1 で確認された皮膚物性を基にコンピュータシミュレーションにて若齢皮膚モデルと高齢皮膚モデルを再現し、両モデルに表情表出を模した運動を生じさせた際に皮膚表面の遅延が生じることを検証した。その結果、皮下組織上層の粘弾性低下により皮膚表面の遅延が生じるという因果性が確認された。実験 4-4 では、皮下組織上層の粘弾性低下の原因を調査するために、若齢ドナーと高齢ドナーの摘出皮膚を用いて皮下組織を走査型電子顕微鏡にて観察した。その結果、加齢に伴い皮下脂肪細胞周囲に線維化を生じることを確認した。以上、本章の結果から、第 3 章で確認された顔印象に寄与する頬部皮膚運動の遅延が加齢に伴う皮膚皮下脂肪層の粘弾物性の低下により生じること、および本粘弾物性の低下が加齢に伴う皮下組織の脂肪細胞周囲の線維化により生じることが示唆された。

第 5 章「実験的検討概要：顔の観察の向きが知覚年齢に及ぼす影響」

第 6 章で実施する顔の観察の向きが知覚年齢に及ぼす影響に関する実験的検討の概要を述べた。

第 6 章「実験的検討：顔の観察の向きが知覚年齢に及ぼす影響」

顔の観察の向きが知覚年齢に及ぼす影響について検討した。実験 6-1 では、知覚年齢実験により、ステレオカメラで撮影された顔の 3 次元画像の観察方向を操作した視覚刺激を用いて知覚年齢に対する顔の観察方向の影響を調査した。加えて、年齢判断している最中の観察者の視線を計測することで年齢印象に寄与する顔の領域を特定した。その結果、顔の観察角度は知覚年齢に影響しており、特に顔が加齢するに伴い横向きの顔で知覚年齢が低下することを確認した。また、観察者は年齢を頬部情報から判断している可能性が示唆された。この顔の観察の向きによる知覚年齢への影響が顔の立体形状により生じるという仮説のもと、続く実験 6-2 および実験 6-3 を実施した。実験 6-2 では顔 3 次元形状の個人差について 20 代から 60 代の日本人を対象に主成分分析により評価した。加えて、各主成分得点と実年齢との相関性から顔の 3 次元形状の加齢変化について考察した。その結果、顔の 3 次元形状の個人差は全年代で一様ではなく、20 代から 40 代の若齢群と 40 代から 60 代の高齢群とで異なることを確認した。若齢群では、加齢とともに「頬全体と顎周辺の膨らみの増加」、「こめかみ、瞼、頬上部の膨らみの減少」が生じることを確認した。一方で高齢群では、加齢とともに「頬下部と顎周辺の膨らみの増加」、「皮膚の下垂と顎の歪み」が顕著となることが示された。さらに、高齢群の主成分得点と実験 6-1 で確認された各観察方向からの知覚年齢との関係性について予備的に解析した結果、頬のマクロな形態が観察の向きにより顕著となることが顔の観察の向きにより生じる知覚年齢増加の一因であることが示唆された。

第 7 章「総合的考察」

本論文を通して得られた知見をまとめて顔の知覚年齢に及ぼす運動(非剛体特性)・観察の向き(剛体特性)の関与を整理し、今後の展望について述べた。

顔の運動が知覚年齢に及ぼす影響の検討から、人間は加齢に伴い生じる微小な頬部皮膚の遅延を捉え

て老化印象や魅力の低下, 快感情の知覚の低下といった顔印象を形成することを確認した. さらに, 頬部皮膚の遅延の要因として, 皮下組織上層の脂肪細胞周囲の線維化に伴う粘弾性の低下が示唆された. また, 顔の観察の向きが知覚年齢に及ぼす影響の検討から, 加齢に伴い生じる頬のマクロな凹凸形態が観察の向きによって顕在化もしくは隠微となり, 顔の向きによる顔の知覚年齢の違いを生じている可能性が確認された.

今後の展望としては, 本論文で得られた知見をもとに, 例えば若々しく魅せる方策の提案が可能となると考える. 具体的には, 皮膚科学的な観点から考察することで, 皮膚の外観を制御して若々しい印象を与えるメイクアップ製品や, 皮膚の運動性や立体形態に寄与する皮膚内部構造体の老化を抑制して若々しい印象を実現するスキンケア製品といった香粧品の開発が可能となると考える. さらに, COVID-19 感染拡大を契機に日々の生活に浸透した Web 会議など画面越しでの対面コミュニケーション機会において, 本論文の知見を光学的に実装することで顔の運動性や立体性を制御し, 若々しく魅せる方策にも展開可能だと考える.

目次

要約	6
第1章 序論：顔の老化研究と知覚年齢に関する実験的研究の概観	8
1-1. 顔の外観的变化	11
1-1-1. 顔の外観的变化—乳幼児期から成人期まで	11
1-1-2. 顔の外観的变化—成人期以降	12
1-2. 顔知覚の情報処理過程	15
1-2-1. Bruce and Young (1986) の顔認識モデル	15
1-2-2. 顔認識モデルの脳イメージング研究による修正	17
1-2-3. 顔の知覚年齢に関わる情報処理過程	18
1-3. 顔の知覚年齢に関わる外観的特徴	19
1-4. 本研究の目的と概要	21
第2章 実験的検討概要：顔の運動が知覚年齢に及ぼす影響	22
第3章 実験的検討：表情表出時の皮膚の動的特性が顔印象に及ぼす影響	24
3-1. 実験 3-1：表情が知覚年齢に及ぼす影響の検討	25
3-1-1. 方法	25
3-1-2. 結果	32
3-1-3. 考察	36
3-1-4. 実験 3-1 のまとめ	38
3-2. 実験 3-2：表情表出に伴う皮膚表面の動的特性の検討—加齢変化の調査—	39
3-2-1. 方法	39

3-2-2. 結果	44
3-2-3. 考察	45
3-2-4. 実験 3-2 のまとめ	47
3-3. 実験 3-3: 表情表出時の頬部運動の遅延の知覚感度調査	49
3-3-1. 方法	50
3-3-2. 結果・考察	57
3-3-3. 実験 3-3 のまとめ	62
3-4. 実験 3-4: 表情表出時の頬部運動の遅延が顔印象へ及ぼす影響の検討	63
3-4-1. 方法	63
3-4-2. 結果・考察	66
3-4-3. 実験 3-4 のまとめ	67
3-5. 第 3 章のまとめと考察	69
第 4 章 実験的検討: 表情表出時の皮膚の動的特性に対する皮膚内部要因の影響	71
4-1. 実験 4-1: 皮下組織の粘弾物性の実年齢および BMI との関係性調査	72
4-1-1. 方法	74
4-1-2. 結果	78
4-1-3. 考察	85
4-1-4. 実験 4-1 のまとめ	89
4-2. 実験 4-2: 皮下組織上層の粘弾性低下と表情表出時の皮膚表面の遅延の相関性調査	90
4-2-1. 方法	90
4-2-2. 結果	92
4-2-3. 考察	92
4-2-4. 実験 4-2 のまとめ	93

4-3. 実験 4-3: 皮下組織上層の粘弾性低下と表情表出時の皮膚表面の遅延の因果性調査	95
4-3-1. 方法	95
4-3-2. 結果	97
4-3-3. 考察	97
4-3-4. 実験 4-3 のまとめ	98
4-4. 実験 4-4. 皮下組織の線維構造体の加齢変化の検討	99
4-4-1. 方法	99
4-4-2. 結果	101
4-4-3. 考察	102
4-4-4. 実験 4-4 のまとめ	104
4-5. 第 4 章のまとめと考察	106
第 5 章 実験的検討概要: 顔の観察の向きが年齢知覚に及ぼす影響	108
第 6 章 実験的検討: 顔の観察の向きが年齢知覚に及ぼす影響	110
6-1. 実験 6-1: 顔の観察の向きが年齢知覚に及ぼす影響の検討	111
6-1-1. 方法	111
6-1-2. 結果	118
6-1-3. 考察	122
6-1-4. 実験 6-1 のまとめ	126
6-2. 実験 6-2: 顔 3 次元形状の加齢変化調査	127
6-2-1. 方法	127
6-2-2. 結果と考察	131
6-2-3. 実験 6-2 のまとめ	141
6-3. 第 6 章のまとめと考察	142

第7章 総合的考察	144
7-1. 実験結果のまとめ	144
7-2. 顔の知覚年齢に及ぼす運動と観察の向きの関与	150
7-3. 皮膚科学的考察	151
7-3-1. 頬部運動の老化	151
7-3-2. 頬部形態の老化	152
7-4. 成果の活用可能性	153
7-4-1. 皮膚表面特徴からの活用	153
7-4-2. 皮膚内部特徴からの活用	154
7-4-3. 皮膚表面特徴と皮膚内部特徴との関係性からの活用	154
おわりに	156
引用文献	157
付記	176
倫理審査	176
初出一覧	177
謝辞	179