バイオメトリクス教科書

—原理からプログラミングまで—

映像情報メディア学会 編

工学博士　半谷 精一郎 編著

コロナ社

編著者・執筆者一覧

編著者

半谷精一郎　（東京理科大学）

執筆者（執筆順）

半谷精一郎　（東京理科大学，1，2章，5.1節）
瀬戸　洋一　（産業技術大学院大学，3，7章）
吉田　孝博　（東京理科大学，4.1節）
清水　孝一　（北海道大学，4.2節）
鷲見　和彦　（青山学院大学，4.3節）
市野　将嗣　（電気通信大学，5.2節，6章）

（2012年5月現在）

ま　え　が　き

近年，ネットワークを利用するビジネスが拡大し，セキュアな情報交換が普及しつつあるが，その前提となる本人認証のために，生体認証を意味する「バイオメトリクス」という言葉がキーワードとして用いられるようになってきた。バイオメトリクスとは，本来，生物学（biology）と尺度（metrics）という二つの言葉の合成語であり，本人しか持ちえない物理的な情報あるいは特徴のことである。したがって，こうした特徴を積極的に利用する生体認証は，今後，印鑑や暗証番号の代替情報として，現実世界で活動するうえでも，サイバー世界で活動するうえでも，必要不可欠な技術になることが予想される。

生体認証によるセキュリティシステムを導入するうえで，公共の利益を優先するのか，個人のプライバシーを優先するのかといった議論が聞かれる。しかし，少なくとも社会の安全が確保されなければ，個人のプライバシーも危うくなることは明らかである。このことは，わが国で発生した地下鉄サリン事件や米国で発生した同時多発テロのことを想い起こせば，十分理解できるであろう。以来，世界各国はバイオメトリクスに大きな注目と期待を寄せ，2002 年に，ISO と IEC の合同委員会である JTC1（Joint Technical Committee 1）により関連技術の開発と標準化を担う SC（Subcommittee）が設置され，グローバルな生体認証セキュリティシステムの構築を目指して活動が開始されている。

この世界共通な生体認証セキュリティシステムは，同システムに準拠していると認定された機器であれば，すべての情報を標準化されたデータ形式で情報交換でき，容易にシステムを構築できるというもので，実世界あるいはサイバー世界の犯罪者が，国を越えネットワークを越えて活動することを抑制できる。そのため，世界各国においてバイオメトリクスに関する豊富な知識と経験を有する研究者や技術者の拡大が，安全な国家あるいは世界を構築するうえで

重要課題になってきている。

本書では，バイオメトリクス全般にわたる知識を平易に解説し，どのような原理によって身体情報が収集され，認証にまで至るのかを十分理解できるようにそれぞれのご専門の方々に執筆していただくこととした。特に，指紋，静脈，顔，署名，音声といったモダリティごとの特徴量がどのように抽出され利用されているかについては詳しく記述し，MATLAB に準拠したプログラム例も付録に付すことでアルゴリズムの理解を助けるように配慮したつもりである。したがって，初学者や学生のみならず，実際に生体認証に関わる技術者にとっても体系的に学べるものと自負している。

本書の構成は半谷が担当して決めたが，瀬戸洋一先生（産業技術大学院大学）にも多くのご助言をいただいた。もちろん，内容に関する責めは半谷が負うべきものであり，ご無理を申し上げたにも関わらず出版までこぎつけられたのは，各先生のご協力とご努力によるところが大きい。

なお，大学の 15 回の授業で本書を利用されるのであれば，基礎編の 1 章のモダリティの話を 1 回で，2 章は信号処理とアルゴリズムなので実習を行いながら 3 回で，3 章の精度評価に関しては 2 回程度に分けるとよい。また，応用・実践編の 4 章で指紋，静脈，顔を用いる具体的な認証系を 3 回で，5 章の署名と音声による認証系を 2 回で，6 章のマルチモーダルの考え方を 1 回で，7 章のセキュリティに関わる考え方を 2 回で教授し，最後の 1 回でバイオメトリクスに関してまとめることで体系的に学べると考えている。各章末にある演習問題の解答は下記のホームページをご参照いただきたい。

最後に，本書の出版に際し，多くの労をとっていただいた映像情報メディア学会ならびにコロナ社の方々に心から謝意を表する次第である。

2012 年 4 月

著者を代表して　半谷精一郎

付録のプログラムおよび演習問題の解答は以下のホームページに掲載した。
http://www.ee.kagu.tus.ac.jp/1bu/profs/hangai/biometrics.html
MATLAB を利用できる環境をお持ちの方は是非ともお試しいただきたい。

目　　次

第I部　基　礎　編

1 バイオメトリック認証のためのモダリティ

2 バイオメトリック認証のための信号処理

3 バイオメトリック認証システムにおける精度評価の方法

第Ⅱ部　応用・実践編

4 静的バイオメトリック認証系の実例

6 —— マルチモーダル生体認証

7 —— セキュリティとプライバシー

第Ⅰ部　基　礎　編

1 バイオメトリック認証のためのモダリティ

人間のどのような特徴がどこまで一致していたら，その特徴は登録されている人間のものと同じであると認証できるのであろうか。少なくとも私たちの社会生活の中では，見覚えのある「顔」や聞いたことのある「声」だけで判断することがほとんどである。しかし，よく考えてみるとこんな曖昧な特徴だけで，相手を本人であると認め，話をし，金品の授受を行って大丈夫なのであろうか。そこには，記憶というもともと曖昧な情報だけで，短時間に本人認証するための知恵が働いている。つまり，最初は曖昧な状態で相手を本人と認めているが，相手との会話や断片的だった相手の顔の記憶をつなぎ合わせていくうちに推論を行い，最終的に確信に変えていく。言い換えれば，相手の顔の物理的な形状や音声の周波数成分の時間的な推移といった客観的な特徴の中で，主観的な特徴とみなした部分の記憶を利用することによって認証を行っているということである。

しかし，信用できない相手がたくさんいる世界を考えると，そうもいっていられなくなる。例えば，見知らぬ土地に行き，写真を頼りに初対面の人と会ったならば，金品を渡したり，大切な情報を渡しても大丈夫なのだろうかと不安になる。ネットワークの向こう側にあるサイバー世界は，さらに危険な空間であり，このようなサイバー世界ではより厳密な客観的な尺度によって認証が行われるべきである。つまり，本人でなければ知りえないことや本人でなければ

持っていないもので紛失や忘却，盗難の危険性がより少ないものによって認証する必要がある。こうしたことから，記憶の中にある暗証番号やパスワード，そして本書で扱う生体の身体的特徴や行動的特徴を認証に用いることは，セキュリティ上，理にかなっている。

表 1.1 は，生体認証に用いられる特徴の大分類を意味するモダリティ（modality）とそのセンサ，抽出して認証に利用される特徴量（feature），認証に要するおおよその時間，認証誤差，人間にとっての受容性，導入経費，問題点などをまとめたものである。このうち，指紋，顔，虹彩，静脈，掌形，DNA といったモダリティは，個人を直接特定できる物理的な特徴であるために身体的特徴と呼ばれる。比較的認証誤差が小さく，経時変化が生じにくいことから，これらの特徴量を採取する多様なセンサや得られた特徴量を用いて認証するアルゴリズムが多数提案され，さまざまな分野で利用されている。これ

表 1.1　実用化されている生体認証技術

モダリティ	センサ	特徴量	認証時間	認証誤差	受容性	導入経費	問題点
指紋	静電容量形センサ 感圧式センサ 光学式センサ	画像そのもの マニューシャ スケルトン	5 秒以下	10^{-4}	中	安	異なる特徴量間の互換性，乾燥指，水濡れの影響
顔	CCD カメラ	目鼻口の位置 髪の色，顔色	5 秒以下	5〜10 % 程度	高	中	化粧，眼鏡，照明の影響，加齢，双生児
虹彩	CCD カメラ	瞳孔外側のアイリスコード	5 秒以下	10^{-5}	中	高	まつ毛の影響 装置が大きい
静脈	赤外線を利用する CCD カメラ	手の平・指の静脈パターン	5 秒以下	10^{-5}	中	中	装置がやや大きい
掌形	CCD カメラ	指の長さ，幅，厚み，4 本の指の表面積	1 秒以下	0.2 % 程度	中	中	装置が大きい
DNA	DNA センサアレー	塩基配列	3 時間	10^{-21}	低	高	コスト，時間，倫理
音声	マイクロホン	フォルマント	5 秒以下	2 % 程度	高	安	体調，双生児，経時変化
署名	タブレット	筆順，筆圧，筆速	5 秒以下	2 % 程度	高	安	筋肉疲労 経時変化

に対し，音声や署名のようなモダリティは，何らかの行動に伴って現れる生成物から抽出した特徴であるために行動的特徴と呼ぶ。

例えば，音声は呼気で声帯を振動させた音という生成物であり，署名も筆記具を手に持ち複数の運動系を動かすことによって得られる生成物である。行動的特徴は，われわれ人間にとって採取されても心理的な負担が比較的少ない生体特徴ではあるが，採取時の環境の影響や生体固有の変化がつねに存在するために，身体的特徴を上回るほどの認証精度が得られず，実用化されている装置やシステムはかなり限定される。いずれにしても，どのモダリティも一長一短があり用途に応じた使い分けが必要である。

1.1 身体的特徴の概要

指紋は，当初はイギリスが中心となって犯罪捜査のために用いられてきたが，1980 年ごろから米国で AFIS(Automatic Fingerprint Identification System) という自動化システムが利用されるようになり[1)†]，その後，1985 年頃から原子力発電施設などの重要施設の入退室管理システムとして利用されるようになった[2)]。現在では認証誤差が小さく導入経費も安くなったために，わが国をはじめ欧米でも幅広い分野で用いられている。例えば，携帯電話やコンピュータの使用開始時の認証[3)]，USB メモリ内の情報にアクセスするときの認証[4)]，マンションやビルへの住人の入退室管理[5)]，入出国管理のためのホームランドセキュリティシステム[6)] などがそれである。ただし，センサの特性上，皮膚の状態（水ぬれや乾燥）によって認証しにくいことがあり，センサを 3 次元に配置して指紋の測定精度を高める研究[7)] も行われている。

顔認証は，人にとって最も自然な個人認証方法で，空港などの防犯カメラからの画像を用いた監視[8)] や入国時のパスポートの顔画像データとの自動照合[9)]，入退室管理などに利用されている。ただし，化粧や眼鏡といった見掛けの変化や照明の当たり方の影響を受けやすいことから，近赤外光を使った顔画像取

† 肩付き数字は，巻末の引用・参考文献を表す。

得[10] や光源の位置を変えたときの顔画像取得によって認証精度を上げる試みもある[11]。

虹彩認証は，認証精度が高いことから高いセキュリティを必要とする入退室で利用されている。ただし，虹彩画像が低品質（まつげが入るなど）になると認証率が低下するため，特徴点の検出と特徴量の記述を行う SIFT（Scale-Invariant Feature Transform) を利用した研究が行われている[12]。カメラの撮影能力を高めることで空港や路上といった公共の場所で認証し，施設や地域のセキュリティに役立てる試みもある[13]。

静脈認証は，血液中のヘモグロビンが近赤外光を通しにくいことを利用して血管パターンを撮影し，その特徴量を用いて認証する方法で，手の平の中の静脈を用いる方式[14] と指の中の静脈を用いる方式[15] がある。2004 年から，ＡＴＭ利用時の本人認証手段として導入され[2]，ほかにも製造系システム，データセンタなどの入退出管理システム[16]，情報系のＰＣログオンシステム[17] での本人認証に利用され，国際的な市場拡大に一役買っている。

掌形認証は 1993 年ごろから米国で INSPASS（Immigration and Naturalization Service Passenger Accelerated Service System)[18] の登録者に対する入国許可のために採用されていた。装置の決められた位置に手を置き，指の長さや甲の高さといった物理量をもとに認識するもので，きわめて少ないデータサイズ（9 バイト）で認証できる[1] が，わが国ではあまり利用されていない。

DNA 認証では認証時間や導入経費の問題とともに人間の遺伝的な情報を扱うことから，犯罪捜査などではよいが，一般用途に至るまでには今後セキュリティ上の問題のほか，倫理面での問題も解決する必要がある[18]。

1.2　行動的特徴の概要

音声による個人認証は，声道の物理的な形状によって決まる共振周波数に着目した方法で，テレホンバンキングにおける認証[19] や通常の鍵を忘れてしまったときのマンションへ入館の際に，第二の鍵として利用されている[20]。特徴量

である声道の共振周波数の時間的変化が必ずしも安定でないことから，本人の間でも変動が大きく，用途が限定される。ただし，自然かつ非接触で音声を採取できることから心理的な負担は少ない。

署名による個人認証は，紙に書かれた署名どうしを比較するオフライン署名認証[21] とタブレットと呼ばれる署名時の時系列を採取する装置で得たデータを利用するオンライン署名認証[22] とに分類される。音声同様，毎回の署名から抽出される特徴量が本人のものであっても安定しないことから，用途が限定される。社内の電子決済[23] などで実用化されている。

1.3 市　場　規　模

世界の生体認証に関する市場規模の 2009 年の IBG（International Biometric Group）による報告書[24] によると，AFIS のような犯罪捜査目的を含む指紋認証システムが 66.7 % を占め，次いで顔認証が 11.4 %，虹彩認証が 5.1 %，音声認証が 3.0 %，静脈認証が 2.4 %，掌形認証が 1.8 %，ミドルウェア・その他が 9.6 % となっている。**図 1.1** は 2009 年から 2014 年にかけての世界のバイオメトリクス市場の規模（予測を含む）を表したもので，34 億 2 230 万ドルから 93 億 6 850 万ドルに拡大するとしている。

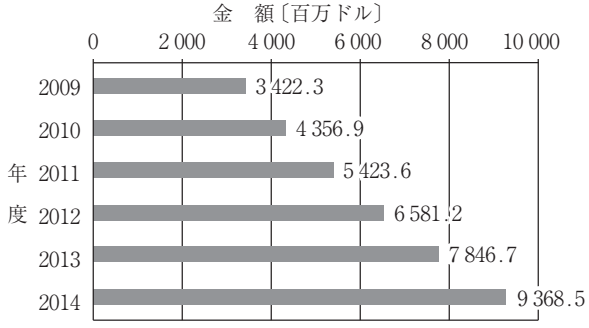

図 1.1　世界のバイオメトリクス市場（金額ベース）

図 1.2 は，わが国の生体認証に関わるマーケットの 2009 年から 2014 年の市場拡大の様子（予測を含む）を示したものであるが，世界の市場の増加率と比べると鈍化していることがわかる。

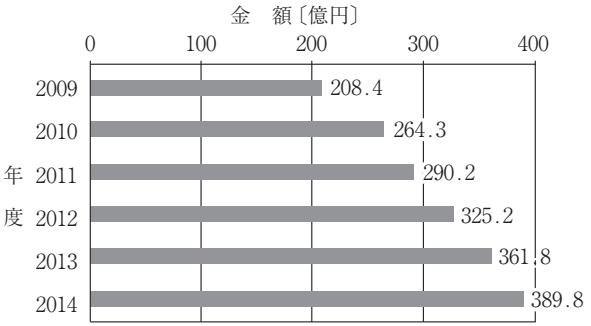

図 1.2　日本のバイオメトリクス市場（金額ベース）

一方，わが国の調査機関によると[25]，2009 年におけるわが国のバイオメトリクス市場は 208 億円で，2010 年度 264 億円，2011 年度予測 290 億円と成長してきているが，伸び率は鈍化している。その大きな理由は，静脈認証系の市場が 2009 年の 115 億円から 2010 年に 167 億円，2011 年予測で 198 億円と伸びているものの，指紋認証装置は単価が低くなりつつあるために，数量は伸びても市場拡大につながっていない。

2010 年度における，わが国のモダリティ別の市場は，数量ベースでみると，指紋認証が 57.9％ を占め，次いで署名認証が 10.6％，静脈認証が 8.1％，顔認証が 5.9％，音声認証が 5.0％，虹彩認証が 0.01％，掌形認証が 0.01％ となっている。ただし，金額ベースでみると，静脈認証が 63.2％ を占め，次いで指紋認証が 30.0％，顔認証が 3.3％，音声認証が 1.1％，署名認証が 0.8％，虹彩認証が 0.2％，掌形認証 0.2％ であり，静脈認証の占める割合が圧倒的に多い。

索　　引

―― 編 著 者 略 歴 ――

1975 年　東京理科大学工学部電気工学科卒業
1981 年　東京理科大学大学院博士課程修了（理工学研究科電気工学専攻）
　　工学博士（東京理科大学）
1981 年　東京理科大学助手
1987 年　東京理科大学講師
1991 年　東京理科大学助教授
1996 年　スタンフォード大学客員研究員（1 年間）
2001 年　東京理科大学教授
　　現在に至る

バイオメトリクス教科書―原理からプログラミングまで―
A Textbook of Biometrics

2012 年 7 月 6 日　初版第 1 刷発行

検印省略

編　　者　一般社団法人 映像情報メディア学会
編 著 者　半谷精一郎（はんがい せいいちろう）
発 行 者　株式会社 コロナ社
　　代 表 者　牛来真也
印 刷 所　萩原印刷株式会社

112-0011　東京都文京区千石 4-46-10
発行所　株式会社　**コ ロ ナ 社**
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo　Japan
振替 00140-8-14844・電話（03）3941-3131（代）
ホームページ　http://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-00835-7　（高橋）　（製本：愛千製本所）
Printed in Japan