

# 前頭洞による個人識別と頭部 CT : RaySum 像の利用

蛭 間 有紀子

新潟大学医歯学総合研究科地域疾病制御医学専攻

地域予防医学法医学分野

(主任：山内春夫教授)

## Personal Identification Using the Frontal Sinus: Application of the RaySum Image from Computed Tomography

Yukiko Saikawa HIRUMA

*Division of Legal Medicine, Niigata University Graduate School of  
Medicine and Dental Science*

*(Director: Prof. Haruo YAMANOUCHI)*

### 要 旨

法医学分野における個人識別は、身元不明死体の身元確認の為に行われることが多く、該当者の検索と、該当者と死体との様々な身体特徴を一对一で比較し、同一人か否かを判定する異同識別の2つのプロセスがある。前頭洞の形態比較は腐敗など死後変化の影響を受けにくい骨構造を利用した個人識別の一法で、様々な手法が提唱されている。該当者の生前資料として提供されることが多い5mm スライス厚の頭部 CT 画像は、前頭洞の形態を十分に観察できず、前頭洞の形態比較を用いた個人識別にあまり活用されていなかった。そこで5mm スライス厚の頭部 CT を画像処理し単純 X 線写真様の RaySum 像にしてから前頭洞の形態を比較することで、個人識別に活用できるかを検証する目的で本研究を行った。具体的には105症例の2mm スライス厚の死後頭部 CT 画像と5mm スライス厚の生前頭部 CT 画像から作成した2種類の RaySum 像について、それぞれ左右前頭洞の面積、幅、頂点位置、眼窩間距離を計測した。これから眼窩間距離で補正した右前頭洞面積 (R)、左前頭洞面積 (L)、左右前頭洞面積合計 (S) と幅 (W)、頂点位置 (T) を算出し、同一人の2種類の画像の計測値差を求めた。各パラメーターについて、この計測値差が許容範囲内であれば同一人の可能性がある該当者とする該当者検索法を考案し、様々な計測値差の許容範囲を設定したときの検索法の感度や特異度を計算した。検索に用いる計測値差の許容範囲を E (R の計測値差, L の計測値差, S の計測値差, W の計測値差, T の計測値差) としたとき、E (0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30) の条件で検索法を利用すると、感度は 86.7%、特異度は 93.0% であり、105 症例のうち、66 症例は該当者が 10 人以下に絞り込まれた。頭部 CT の RaySum 像を利用し5種類のパラメーターを比較する該当者検索法は、該当者の絞り込みに有用であることが示された。この検索法の他にも、例えば片側の前頭洞が欠損している、前頭洞が非常に大きいなど、稀な形態の症例は、その特徴を絞り込みに利用できる可能性がある。また絞り込まれた該当者について RaySum 像同士の比較で異同識別を行える可

Reprint requests to: Yukiko Saikawa HIRUMA  
Division of Legal Medicine, Niigata University  
Graduate School of Medicine and Dental Science,  
1-757 Asahimachi - dori, Chuo - ku,  
Niigata 951 - 8510, Japan.

別刷請求先：〒951-8510 新潟市中央区旭町通1-757  
新潟大学医歯学総合研究科法医学分野

蛭間有紀子

能性があり、5mm スライス厚の頭部 CT 画像も、RaySum 像を用いて前頭洞の形態比較をすることで、個人識別に有効に活用できることが示された。

キーワード：法医学，個人識別，前頭洞，CT，RaySum 像

## 緒 言

法医学分野における個人識別は、身元不明死体の身元確認の為に行われることが多く、該当者の検索と、該当者と死体との様々な身体特徴を一对一で比較し、同一人か否かを判定する異同識別の2つのプロセスがある。該当者の検索では着衣や所持品などの情報も役立つが、異同識別は、指紋、足底紋、手術痕や入れ墨、切断指や傷痕などのほか、歯科所見や血液型、DNA 型など身体特徴のみで行う必要がある。可能な限り多くの身体情報を遺体から収集しようとするが、腐敗などの死後変化で限られた情報しか得られないことも少なくない。また異同識別に必要な生前の対照資料が十分に得られないこともある。こうした中で骨構造は死後も比較的損壊を免れることが多いため、個人識別に役立つ貴重な情報となる。

骨構造を用いた個人識別法は数多く存在するが、中でも“Forensic fingerprint<sup>1)</sup>”とも表現された前頭洞の形態比較を用いた手法は、Harris<sup>1)</sup>、吉野<sup>2)</sup>や、Tatlisumak<sup>3)</sup>ら多くの研究者から提案されている。

前頭洞とは、四つある副鼻腔のうちの一つで、前頭骨内にある含気のある空間を指す。前頭洞の形態は20歳頃までに完成し、その後は基本的に変化しない上、個人差が非常に大きい個人識別に利用される<sup>4)</sup>。

前頭洞の形態を評価し、個人識別に活用する手法は、吉野<sup>2)</sup>、Kirk<sup>5)</sup>らに代表される頭部単純X線写真を利用するものと、Tatlisumak<sup>3)</sup>やKim<sup>6)</sup>らのようにComputed Tomography(以下CT)画像を利用するものに分かれる。上下左右方向への広がり方が特徴的な前頭洞を観察するには、CTの軸位断画像よりは単純X線写真の方が直感的に構造を理解しやすいが、近年画像検査として

CTが多く利用されるようになった背景から、2mm スライス厚以下の頭部 CT の軸位断画像上や3次元再構成画像上で前頭洞の計測を行い評価する手法の提案が多い。

しかしながら、該当者の生前の対照資料として比較に用いるために2mm スライス厚以下の画像が提供されることはほとんどなく、得られる頭部 CT 画像は5mm スライス厚の画像が大半である。そこで生前の5mm スライス厚頭部 CT 画像と死後の2mm スライス厚頭部 CT 画像から単純X線写真様のRaySum 像<sup>7)</sup>を作成し、両者の比較から、5mm スライス厚頭部 CT 画像から得られる前頭洞の情報が個人識別に有用であるか検証することを目的とし本研究を行った。

## 材料と方法

### 1. 研究計画

2mm スライス厚で撮影した死後頭部 CT 画像(Postmortem Head CT with 2mm - slice thickness; 2mmPMHCT)と5mm スライス厚で撮影した生前頭部 CT 画像(Antemortem Head CT with 5mm - slice thickness ; 5mmAMHCT)の両者が得られた105症例について、頭部単純X線写真様のRaySum 像<sup>7)</sup>を作成した(図1)。

この2種類のRaySum 像上で、画像処理ソフトのOsirixを使用して観察可能なパラメーターを計測し比較する方法を考えた。

まず、105症例について、2mmPMHCTから作成したRaySum 像(以下2mmPMHCT-RaySum 像)上で計測した結果をもとに、今回使用したパラメーターがどのような数値になるか調べ、大小の程度など、個人識別に利用できる特徴があるかを調べた。

次に、5mmAMHCTから作成したRaySum 像

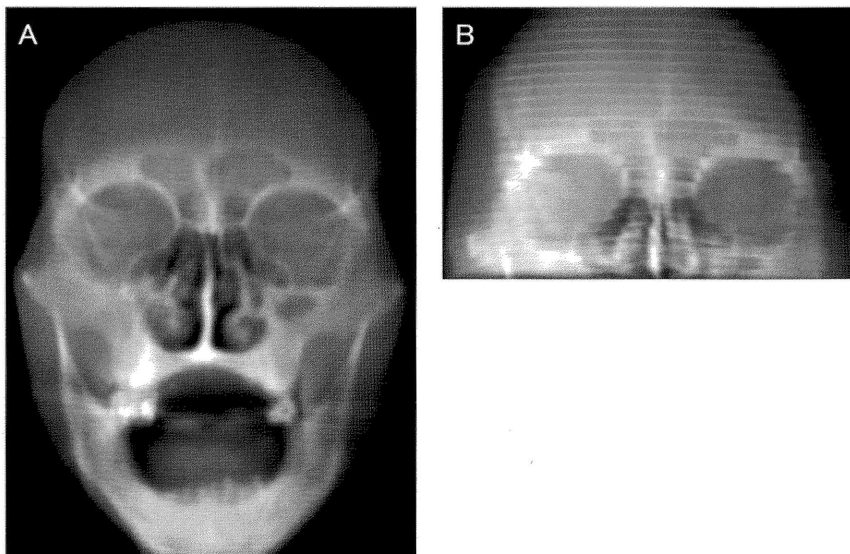


図1 頭部 CT の RaySum 像

- A) 2mm スライス厚の死後頭部 CT 画像から作成した RaySum 像 (2mm PMHCT-RaySum 像) を示す。
- B) 同一症例の 5mm スライス厚の生前頭部 CT 画像から作成した RaySum 像 (5mm AMHCT-RaySum 像) を示す。

(以下 5mmAMHCT-RaySum 像) は、2mm PMHCT-RaySum 像と比較すると前頭洞の構造が不鮮明になるものの、同一人の 2 種類の RaySum 像から得た計測値は、画像の撮影方法や撮影時期が異なっても近似するものと考えられた。そこで 2mmPMHCT と 5mmAMHCT 画像の各パラメーターの計測値差に注目し、それぞれの差が設定した許容範囲内であれば同一人の可能性のある該当者候補 (以下、該当者) と判定することで該当者の絞り込みを行い、異同識別に導く該当者検索法を考え、この検索法の感度や特異度を調べた。

さらに実際に該当者が少数に絞り込まれた症例について、RaySum 像同士の比較を行うことで異同識別を行い、同一人か否かの判定が行えるかを調べた。

なお本研究における画像データは、個人の特定ができないように匿名化したデータとして、新潟市民病院倫理委員会の承認を得て提供されたもの

を使用した (受付番号 12-707)。

## 2. 対象の抽出法と特性

対象症例は新潟市民病院に於いて、2mm PMHCT と 5mmAMHCT を施行された 105 症例である。症例を検討する際に、外傷や腫瘍により前頭洞が破壊されている症例、体動により前頭洞部分が不鮮明である症例、前頭洞が発達途中にあるとされる 20 歳未満の症例は除外した。

105 症例について、2mmPMHCT は 2008 年 4 月から 2012 年 12 月の間に施行されており、5mm AMHCT は 2005 年 4 月から 2012 年 11 月の間に施行されていた。

対象症例のうち、男性は 70 症例 (67%, n = 105)、女性は 35 症例 (33%) であった。男性の PMHCT 撮影時の平均年齢は  $75.3 \pm 11.8$ [32-95] (平均±標準偏差[年齢幅]) 歳で、女性は  $76.5 \pm 9.7$ [54-89] 歳であり、全症例の平均年齢は  $75.7 \pm 11.9$ [32-95] 歳であった。

### 3. CT 使用機材

#### PMHCT

- i. 2008年4月から2009年10月: 16-row detector MDCT (SOMATOM Sensation 16; Siemens Munich, Germany).
- ii. 2009年10月以降: 64-row detector MDCT (SOMATOM Definition AS; Siemens, Munich, Germany).

#### AMHCT

- i. 2007年11月以前: 16-row detector MDCT (SOMATOM Sensation 16; Siemens, Munich, Germany), 6-row detector MDCT (SOMATOM Emotion 6; Siemens, Munich, Germany).
- ii. 2008年4月から2009年10月: 64-row detector MDCT (SOMATOM Sensation 64, and SOMATOM Definition; Siemens, Munich, Germany), 16-row detector MDCT (SOMATOM Sensation 16; Siemens Munich, Germany).
- iii. 2009年10月以降: 64-row detector MDCT (SOMATOM Sensation 64, and SOMATOM Definition; Siemens, Munich, Germany), 64-row detector MDCT (SOMATOM Definition AS; Siemens, Munich, Germany).

### 4. CT 画像再構成方法

得られた AMHCT 画像および PMHCT 画像を、ワークステーション (AW Suite 2.0; GE Health-care, Little Chalfont, UK) を用いて処理した。

まず、観察面を一致させるため、それぞれの軸位断画像上で、両側外耳孔の中心を通る基準線を設定し、この基準線に直交する矢状断の画像を用いて、眼窩下縁と外耳孔上縁を結ぶドイツ水平面を決定した。

前頭洞の観察には、単純 X 線写真と同様の画像が得られる RaySum 像<sup>7)</sup>を用いた。前頭洞の観察には不要な下垂体窩より背側の画像情報を削除した後に、ドイツ水平面に対し垂直な RaySum 像を作成した。WW/WL を 500/-710 に設定し、2mm PMHCT-RaySum 像と 5mmAMHCT-RaySum 像を比較した (図 1)。

### 5. 計測方法

画像処理ソフト Osirix (v4, 1-1, 32bit) を使用して、作成された 2mmPMHCT-RaySum 像と 5mmAMHCT-RaySum 像の各々の右前頭洞面積 (r)、左前頭洞面積 (l)、眼窩間距離 (d)、幅 (w)、頂点位置 (t) を計測した (単位: pixel)。

- i. 計測の際に、両眼窩上縁の接線を引き、これを眼窩上縁線と定めた。この眼窩上縁線に垂直で、左右眼窩内側縁を通る直線を 2

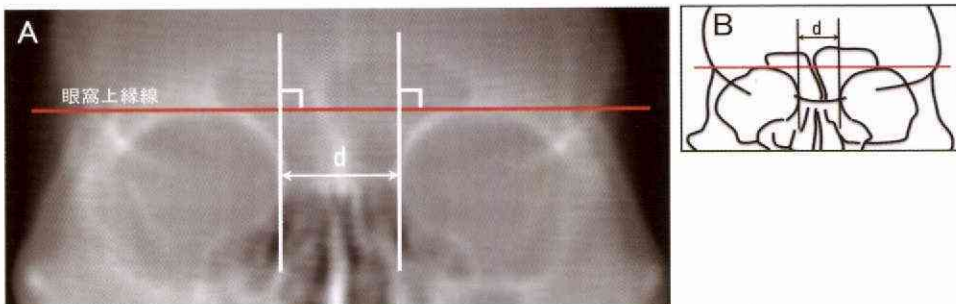


図 2 眼窩間距離 (d) の計測

- A) 実際の RaySum 像上で眼窩間距離 (d) の計測部位を示す。赤線は両側眼窩上縁の接線である眼窩上縁線を示す。
- B) 模式図上での眼窩間距離 (d) を示す。

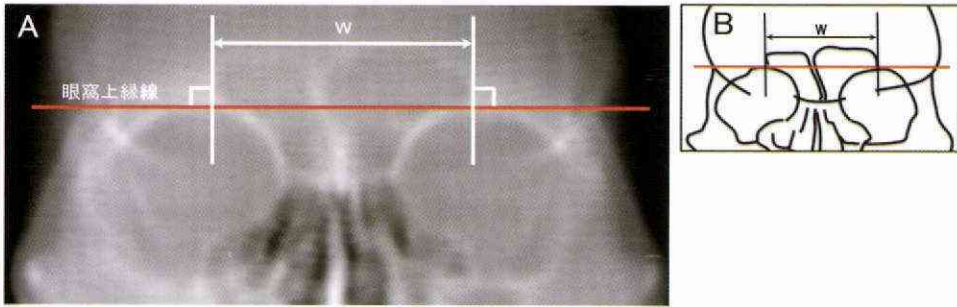


図3 前頭洞の幅 (w) の計測

- A) 実際の RaySum 像上で前頭洞の幅 (w) の計測部位を示す。  
 B) 模式図上で前頭洞の幅 (w) を示す。

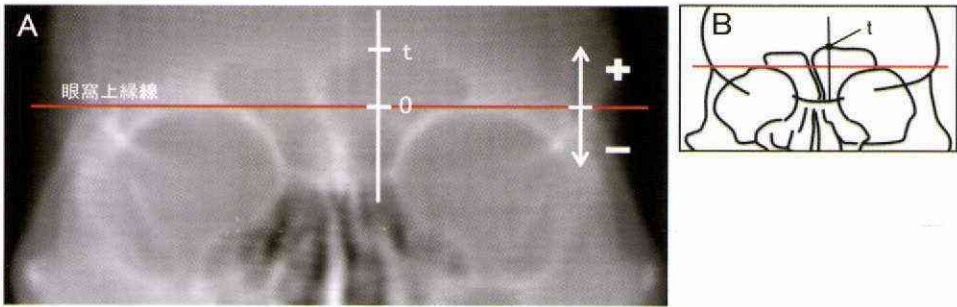


図4 頂点位置の計測

- A) 実際の RaySum 像上で前頭洞の頂点位置 (t) の計測部位を示す。眼窩上縁線より上方に頂点があれば t を正の値とし、下方にあれば負の値とした。  
 B) 模式図上で前頭洞の頂点位置 (t) を示す。

本引き、この2直線間の距離を眼窩間距離 (d) と定めた (図2)。

- ii. 眼窩上縁線に垂直で、前頭洞の左右外側縁を通る直線間の距離を前頭洞の幅 (w) と定め計測した (図3)。
- iii. RaySum 像上で前頭洞の最上端を前頭洞の頂点と定めた。眼窩上縁線に垂直で頂点を通る直線を座標軸とし、眼窩上縁線より上方に頂点がある場合は正の値、下方に頂点が存在する場合を負の値として頂点位置 (t) を計測した (図4)。
- iv. 前頭洞の面積 r, l は、眼窩上縁線より下方に存在する構造も含め、前頭洞と認識でき

る構造全てを計測した (図5)。

- v. 画像自体に付加されている単位距離が、モデルティーや測定機材毎で異なるため、RaySum 像から得られた5種類のパラメーター (r, l, w, t, d) を用いて、前頭洞の相対値、すなわち眼窩間距離 d を1辺とする正方形の面積を単位面積としたときの前頭洞の面積 (R, L, S)、および d を単位距離とした時の前頭洞の幅 (W)、頂点位置 (T) を下記のように定義し算出した。

$$R = r/d^2 \quad L = l/d^2$$

$$S = R + L = \left( r/d^2 + l/d^2 \right)$$



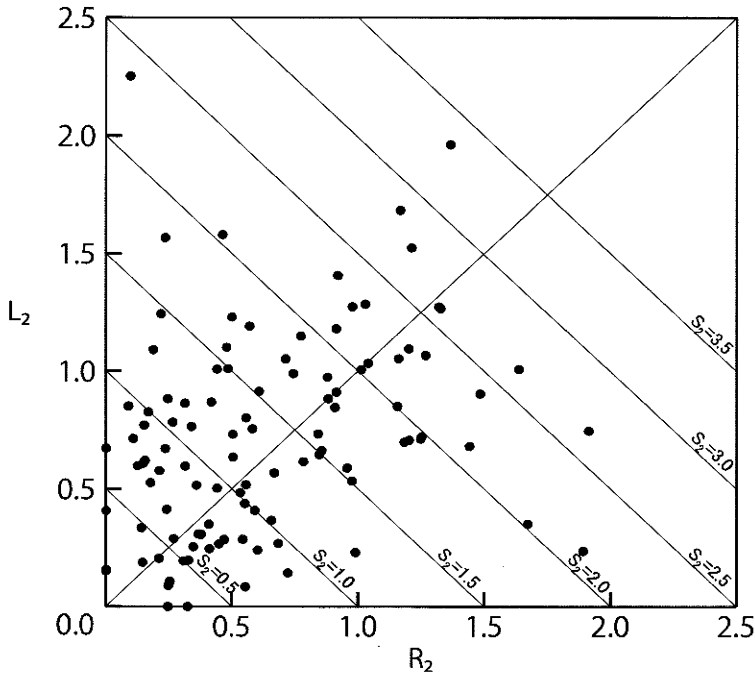


図 6 前頭洞面積  $R_2, L_2, S_2$  の散布図

2mmPMHCT-RaySum 像から計測した 105 症例分の前頭洞の面積  $R_2, L_2$ , および左右前頭洞面積の合計  $S_2$  について, 散布図で示す. 図中で  $S_2$  については, 傾きが-1の直線に平行な直線で表現した.  $R_2, L_2$  について, 弱い正の相関を認めた (相関係数 0.29).

ある  $F_2 (R_2, L_2, S_2, W_2, T_2)$  と

$$|R_2 - R_5| < e_r \quad \dots (a)$$

$$|L_2 - L_5| < e_l \quad \dots (b)$$

$$|S_2 - S_5| < e_s \leq e_r + e_l \quad \dots (c)$$

$$|W_2 - W_5| < e_w \quad \dots (d)$$

$$|T_2 - T_5| < e_t \quad \dots (e)$$

上記 (a) - (e) の条件を全て満たす  $F_5 (R_5, L_5, S_5, W_5, T_5)$  を該当者と判定し, いずれか一つでも条件を満たさない場合は該当者ではないと判定することと定めた.

- iii. 本研究の 105 例の 2mmPMHCT-RaySum 像について, 計測値差の許容範囲  $E (e_r, e_l, e_s, e_w, e_t)$  の条件を様々に変えてこの該当者検索法を使用し, 感度や特異度, 該当者の人数を計算し比較した (表 1).

## 結 果

### 1. 計測値群 $F_2$ 結果

本研究で用いた 105 症例の計測値群  $F_2$  の各パラメーターについて,  $R_2$  が  $0.637 \pm 0.447 [0, 1.912]$  (平均値  $\pm$  標準偏差 [最小値, 最大値]),  $L_2$  が  $0.718 \pm 0.433 [0, 2.252]$ ,  $S_2$  が  $1.355 \pm 0.707 [0.151, 3.328]$ ,  $W_2$  が  $2.011 \pm 0.707 [0.444, 3.265]$ ,  $T_2$  が  $0.526 \pm 0.334 [-0.430, 1.400]$  となった.

105 症例のうち, 前頭洞の面積が小さいものについてみると, 左右前頭洞面積の合計  $S_2$  が 0.5 未満の症例が 11 例 (10.5%,  $n = 105$ ) あった. 右側が欠損している症例を 4 例 (3.8%), 左側が欠損している症例を 2 例 (1.9%) 認め, 右側欠損の 1 例をのぞいた 5 例はいずれも  $S_2$  が 0.5 未満であった.

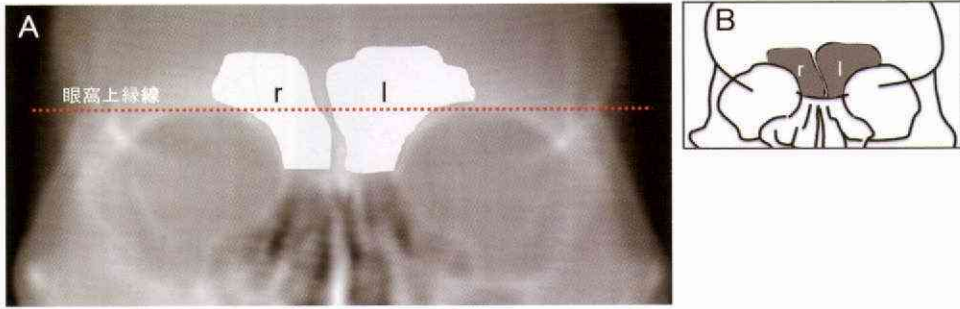


図5 前頭洞面積 (r,l) の計測

- A) 実際のRaySum像上で左右の前頭洞の面積 (r, l) の計測部位を示す。
- B) 模式図上で左右の前頭洞の面積 (r, l) の計測部位を示す。

表1 該当者検索法

該当者検索法の感度と特異度, 該当者数の計算法を示す。

該当者検索法	2つのRaySum像		total
	同一人	別人	
判定 該当者である	A	C	A + C
判定 該当者ではない	B	D	B + D
total	A + B	C + D	A+B+C+D

A = 真陽性  
 B = 偽陰性  
 C = 偽陽性  
 D = 真陰性

感度 =  $A / (A + B)$   
 特異度 =  $D / (C + D)$   
 該当者数 =  $A + C$

$$W = \frac{w}{d} \quad T = \frac{t}{d}$$

2mmPMHCT-RaySum像から得た数値群を  $F_2 (R_2, L_2, S_2, W_2, T_2)$ , 5mmAMHCT-RaySum像から得た数値群  $F_5 (R_5, L_5, S_5, W_5, T_5)$  と表記した。

6. 該当者検索法

- i. 症例毎に, 2mmPMHCT-RaySum像から得た数値群  $F_2$  と 5mmAMHCT-RaySum像から得た数値群  $F_5$  の各パラメーターの計測値差を算出し,  $E_{2-5} (R_2 - R_5, L_2 - L_5, S_2 - S_5, W_2 - W_5, T_2 - T_5)$  とした。

- ii. この  $E_{2-5}$  の値を利用し, ある身元不明死体の 2mmPMHCT-RaySum像と, 同一人の可能性のある 5mmAMHCT-RaySum像を検索する方法として, 2mmPMHCT-RaySum像から得られた  $F_2 (R_2, L_2, S_2, W_2, T_2)$  から設定した計測値差の許容範囲内に  $F_5 (R_5, L_5, S_5, W_5, T_5)$  が入る場合, 5mmAMHCT-RaySum像を同一人の可能性があると判定して該当者とする, 該当者検索法を考えた。

すなわち, 計測値差の許容範囲を  $E (e_r, e_l, e_s, e_w, e_t)$  としたとき,

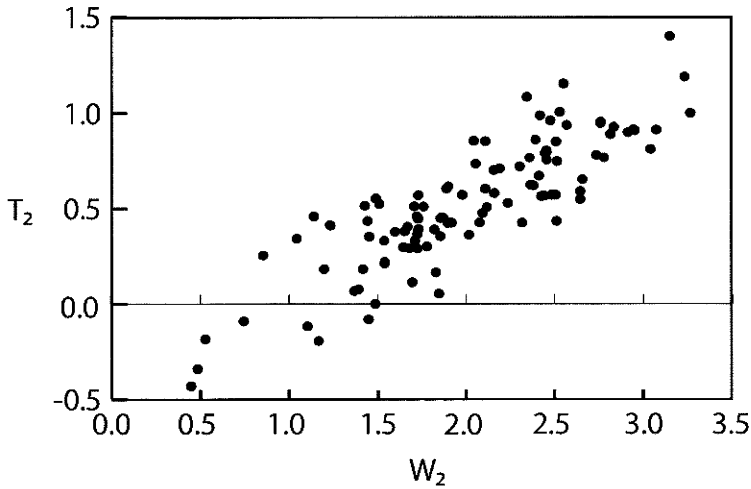


図7 前頭洞の幅  $W_2$ 、頂点位置  $T_2$  の散布図  
2mmPMHCT-RaySum 像から計測した105症例分の、前頭洞の幅  $W_2$  および頂点位置  $T_2$  について散布図で示す。  
 $W_2$ 、 $T_2$  について強い正の相関を認めた(相関係数0.85)。

一方、片側ないし両側の前頭洞の面積が大きい症例についてみると、 $S_2$  が2.5以上の症例は7例(6.7%)で、このうち  $S_2$  が3.0以上の症例を1例(1.0%)認めた。右側前頭洞面積  $R_2$  が1.5を超える症例が4例(3.8%)、左側前頭洞面積  $L_2$  が1.5を超える症例が6例(5.7%)あり、このうち1例では  $L_2$  が2.0を超えていた(図6)。

前頭洞の幅  $W_2$  について、前頭洞の幅が眼窩間よりも狭く  $W_2$  が1.0未満となった症例は5例(4.8%)で、このうち2例は  $W_2$  が0.5未満であった。また  $W_2$  が3.0以上の症例は5例(4.8%)であった。

頂点位置  $T_2$  について、頂点が眼窩上縁線より下方に存在し  $T_2$  が負の値となった症例は7例(6.7%)あった。 $T_2$  が1.0以上となる症例は5例(4.8%)あった。

$W_2$  と  $T_2$  の関連を見ると、 $T_2$  が負の値となった7症例のうち、4症例は  $W_2$  が1.0未満となった。また、 $W_2$  が3.0以上の5症例のうち、 $T_2$  が1.0以上のものは2例であった(図7)。

## 2. 計測値 $F_5$ および計測値差 $E_2 - 5$

計測値群  $F_5$  の各パラメーターは、 $R_5$  が  $0.640 \pm 0.450[0, 1.850]$ 、 $L_5$  が  $0.724 \pm 0.454[0, 2.199]$ 、 $S_5$  が  $1.364 \pm 0.755[0.085, 3.569]$ 、 $W_5$  が  $1.975 \pm 0.633[0.404, 3.382]$ 、 $T_5$  が  $0.560 \pm 0.364[-0.431, 1.414]$  となった。

$F_2$  の各パラメーターと、 $F_5$  との計測値差  $E_2 - 5$  について、結果を度数分布表にして示す(表2)。

$E_2 - 5$  の絶対値、すなわち  $|E_2 - 5|$  について、 $|R_2 - R_5|$  は  $0.068 \pm 0.069[0, 0.419]$ 、 $|L_2 - L_5|$  は  $0.086 \pm 0.070[0, 0.298]$ 、 $|S_2 - S_5|$  は  $0.139 \pm 0.119[0.005, 0.632]$ 、 $|W_2 - W_5|$  は  $0.113 \pm 0.095[0.004, 0.508]$ 、 $|T_2 - T_5|$  は  $0.075 \pm 0.064[0.001, 0.335]$  であった。

## 3. 該当者検索法

本研究で利用した105症例の2mmPMHCT-RaySum 像について、該当者検索法で105人の2mmAMHCT-RaySum 像から該当者を検索した。検索法の計測値差の許容範囲  $E$  を様々に変え、各条件での感度や特異度、105症例の該当者数の合計を計算した(表3、表4)。



表 2 2mmPMHCT-RaySum 像の計測値  $F_2$  と、対応する計測値の差  $E_{2-5}$  の度数分布表

$F_2$  の各パラメーターの階級について、(0, 0.5) と記した場合、 $0 < F_2 \leq 0.5$  であることを示す。

$E_{2-5}$  のパラメーターの階級について、0.1 と 0.2 の間の列にある場合、 $0.1 < E_{2-5} < 0.2$  の範囲にあることを示し、0 の下にある場合は、 $E_{2-5} = 0$  となる症例であることを意味する。

例： $1.0 \leq R_2 < 1.5$  の症例は全部で 18 例。

このうち  $0 < R_2 - R_5 < 1$  の症例は 9 例、 $-0.1 < R_2 - R_5 < 0$  のものは 6 例。

$F_2$	Number of cases		$E_{2-5}$													
	total	(%)	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$R_2$	0	4	3.8							1	3					
	(0.0, 0.5)	45	42.9					1	3	20	19	2				
	[0.5, 1.0)	34	32.4					1	4	6	19	4				
	[1.0, 1.5)	18	17.1					1	2	6	9					
	[1.5, 2.0)	4	3.8						1		2					1
total	105	100				2	2	9	33	3	49	6			1	
$L_2$	0	2	1.9							2						
	(0.0, 0.5)	31	29.5					1	1	15	13	1				
	[0.5, 1.0)	45	42.9					2	4	12	16	9	2			
	[1.0, 1.5)	21	20.0					3	5	7	3	3				
	[1.5, 2.0)	5	4.8					1	1	2		1				
	[2.0, 2.5)	1	1.0													1
total	105	100					7	11	36	2	32	14			3	
$S_2$	[0.0, 0.5)	11	10.5					1		5	4	1				
	[0.5, 1.0)	31	29.5						6	7	6	9	1			
	[1.0, 1.5)	20	19.0			1	1		1	2	1	6	7	2	1	
	[1.5, 2.0)	20	19.0			1			1	6	4	4	3	1		
	[2.0, 2.5)	16	15.2	1	1				3	5	1	1	2			1
	[2.5, 3.0)	6	5.7			1			1	1	2		1			
	[3.0, 3.5)	1	1.0					1								
total	105	100	1	1	3	2	4	18	23	23	21	7	1		1	
$W_2$	[0.0, 0.5)	2	1.9							1	1					
	[0.5, 1.0)	3	2.9		1					1	1					
	[1.0, 1.5)	16	15.2					2	1	1	8	3	1			
	[1.5, 2.0)	31	29.5						2	5	14	6	4			
	[2.0, 2.5)	29	27.6						3	9	10	4	2	1		
	[2.5, 3.0)	19	18.1						4	5	4	4		1	1	
[3.0, 3.5)	5	4.8				1		2	1		1					
total	105	100	1		1	2	12	23	38	18	7	2	1			
$T_2$	[-0.5, 0.0)	7	6.7							2	4	1				
	[0.0, 0.5)	41	39.0				1		8	13	16	3				
	[0.5, 1.0)	52	49.5					2	13	26	10		1			
	[1.0, 1.5)	5	4.8							1	3	1				
total	105	100				1	2	21	42	33	3	3				(Number of cases)

表 3 該当者検索法の感度、特異度

該当者検索法で計測値差の許容範囲  $E$  を変えたとき、感度ないし、特異度が 100% となる組み合わせを示す。

E					感度 (%)	特異度 (%)	真陽性 (人)	偽陽性 (人)	該当者数 (人)
$e_r$	$e_l$	$e_s$	$e_w$	$e_t$					
0.50	0.40	0.70	0.60	0.40	100	77.3	105	2479	2584
0.45	0.35	0.65	0.55	0.35	100	81.8	105	1985	2090
0.419	0.298	0.632	0.508	0.335	100	85.0	105	1639	1744
0.036	0.086	0.122	0.060	0.103	10.5	100	11	0	11

表4 Eを一律に設定したときの該当者検索法の感度, 特異度  
 該当者検索法で計測値差の許容範囲Eを一律に設定し変えたときの  
 感度, 特異度, 105症例の合計の該当者数などを示す.

E	感度 (%)	特異度 (%)	真陽性 (人)	偽陽性 (人)	該当者数 (人)
0.65	100	66.2	105	3689	3794
0.60	99.0	70.1	104	3262	3366
0.55	98.1	73.9	103	2847	2950
0.50	96.2	77.4	101	2468	2569
0.45	95.2	81.3	100	2038	2138
0.40	92.4	85.5	97	1584	1681
0.35	91.4	89.6	96	1140	1236
0.30	86.7	93.0	91	763	854
0.25	79.0	95.8	83	461	544
0.20	70.5	97.9	74	232	306
0.15	41.9	99.2	44	88	132
0.10	20.0	99.9	21	15	36
0.05	2.9	100.0	3	1	4

表5 該当者検索法: 許容範囲E (0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30) のときの結果  
 E (0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30) で該当者検索法を使用した際の結果を  
 表1に対応させて示す.

本研究では同一人の数(表1のA+B)は105人, 総数(表1の  
 A+B+C+D)は11,025(=105×105)人で計算している.

該当者検索法	2つのRaySum像		total
	同一人	別人	
判定 該当者である	91	763	854
判定 該当者ではない	14	10157	10171
total	105	10920	11025

感度が100%で, 特異度が最も高くなる計測値差の最小の許容範囲はE(0.419, 0.298, 0.632, 0.508, 0.335)で, 特異度は85.0%となった. 105人の中からこの条件で該当者の絞り込みをすると, 該当者数の合計は1,744人となり, 1症例あたりの平均該当者数は約16.6人となった.

特異度が100%となり, 感度が最も高くなる計

測値差の最大の許容範囲はE(0.036, 0.086, 0.122, 0.060, 0.103)で, 感度は10.5%となった. 105人の中からこの条件で該当者の絞り込みをすると, 該当者数の合計は11人で, 1症例あたりの平均該当者数は約0.1人となった.

E(0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30)のとき, 感度は86.7%, 特異度は93.0%で, 105人の中からこ

表 6 E (0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30) で該当者検索法を用いたとき、偽陰性となった 14 症例の計測値差  $E_{2-5}$  の一覧  
許容範囲から外れたパラメーターを黒太字で表記した。

症例No	$E_{2-5}$				
	$R_2-R_5$	$L_2-L_5$	$S_2-S_5$	$W_2-W_5$	$T_2-T_5$
1	<b>-0.333</b>	-0.298	<b>-0.632</b>	<b>-0.303</b>	-0.159
2	<b>-0.316</b>	-0.259	<b>-0.575</b>	-0.150	0.027
3	<b>0.419</b>	0.098	<b>0.517</b>	0.172	0.043
4	-0.053	0.040	-0.013	<b>-0.508</b>	-0.079
5	0.030	-0.018	0.012	<b>0.462</b>	-0.141
6	-0.197	-0.230	<b>-0.427</b>	-0.252	-0.135
7	-0.214	-0.196	<b>-0.410</b>	-0.117	-0.145
8	-0.187	-0.219	<b>-0.405</b>	-0.148	-0.048
9	0.025	0.029	0.054	<b>0.386</b>	0.204
10	-0.109	-0.231	<b>-0.339</b>	-0.072	-0.261
11	-0.167	-0.082	-0.249	-0.172	<b>-0.335</b>
12	0.049	0.142	0.190	<b>0.327</b>	0.029
13	-0.087	-0.234	<b>-0.321</b>	-0.047	-0.102
14	0.108	0.206	<b>0.314</b>	0.279	-0.063

の条件で該当者の絞り込みを行うと、該当者数の合計は 854 人となり、1 症例あたりの平均該当者数は約 8.1 人となった。

#### 4. E (0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30) の場合

- i. 本研究で利用した 105 症例分の 2mm PMHCT-RaySum 像について、計測値差の許容範囲を E (0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30) として該当者検索法を用い、105 症例の 5mmAMHCT-RaySum 像から該当者を検索した (表 5)。

このとき、検索法で絞り込まれた該当者の中に、同一人の画像が含まれなかった (偽陰性) 症例は 14 例であった。この 14 例について、検索条件を満たさなかったパラメーターについて見ると、S のみ条件を満たさなかったものが 9 例、W のみが 1 例、T のみが 1 例で、R と S の 2 項目で条件を満たさなかったものが 2 例、R, S, W の 3 項目で条件を満たさなかったものが 1 例であ

った (表 6)。

- ii. この条件を用いた際の個々の症例の該当者数について、10 人以下の症例は 66 例で、このうち 0 人が 4 例あり、次いで 1 人が 7 例、2 人が 8 例であった。一方、該当者が 20 人以上となった症例は 3 例で、最も多くなったのは該当者数が 26 人の 1 例であった (図 8)。

該当者が 1 人に絞り込まれた 7 例について、2mmPMHCT-RaySum 像と該当者の 5mmAMHCT-RaySum 像を直接比較したところ、同一人が該当者として絞り込まれた 6 例は、2つの RaySum 像に大きな差異が認められず、同一人の画像と判断しても矛盾はなかった。一方、別人が該当者として絞り込まれた 1 例は、2mmPMHCT-RaySum 像で確認できる分葉構造が、該当者の 5mmAMHCT-RaySum 像になく、2mmPMHCT-RaySum 像では認められない前頭洞の隔壁が、該当者の 5mmAMHC

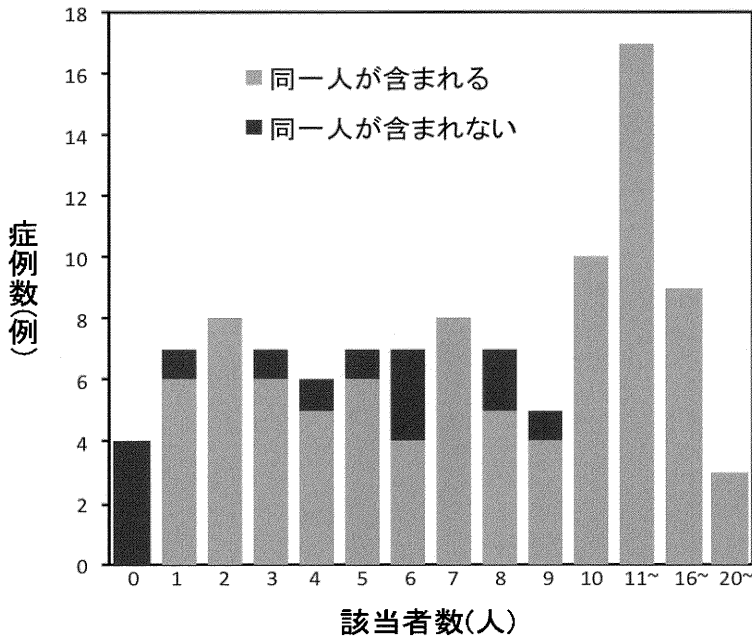


図8 E (0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30) の時の該当者数  
105症例の2mmPMHCT-RaySum像に対し、E (0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30) で該当者検索法を用いた結果を示す。  
該当者の中に、同一人が含まれた症例を淡灰色で、該当者の中に同一人が含まれなかった症例を濃灰色で示した。

T-RaySum像に見られる等、大きな特徴の差異があり、別人の画像であると判断し得た(図9)。

## 考 察

5mmスライス厚の頭部CT検査は臨床医学分野では広く普及した検査法で、法医学分野でも個人識別を行う際に、該当者の生前資料として画像を提供されることが多い。頭蓋骨に既知の外傷後変化や小奇形、手術痕など、珍しい特徴があった場合は、肉眼の解剖所見と比較することで個人識別に役立つ有力な情報として利用されるが、前頭洞の形態比較という観点から個人識別に利用する機会はあまりなかった。これは前頭洞が複雑な3次元構造をとるため、頭部単純X線写真のように2次元画像化して見れば理解しやすい構造も、CT

の軸位断画像を利用すると上下左右方向の連続した構造が直感的に分かりにくくなるためである。

前頭洞の形態を利用した個人識別法は1987年に発表された吉野<sup>2)</sup>のものを含め多数提唱されている。吉野は、成人100人の頭蓋骨の単純X線写真から前頭洞の形態を解析し、前頭洞の面積、左右の非対称性、洞上縁の形態、眼窩の小腔の有無などから、7桁の前頭洞の形態コードを用いて分類することで個人識別に利用する手法を提案した<sup>2)</sup>。2006年にはTatlismakにより2mmスライス厚頭部CT画像を用いた前頭洞の個人識別法、FSS法が提唱され<sup>3)</sup>、2012年にはKimによりCT画像を用いた前頭洞の3次元構造比較による個人識別法が提唱されている<sup>6)</sup>。TatlismakやKimらの手法は、いずれも1-2mmの薄いスライス厚で撮影された頭部CT画像を利用した前頭洞の形

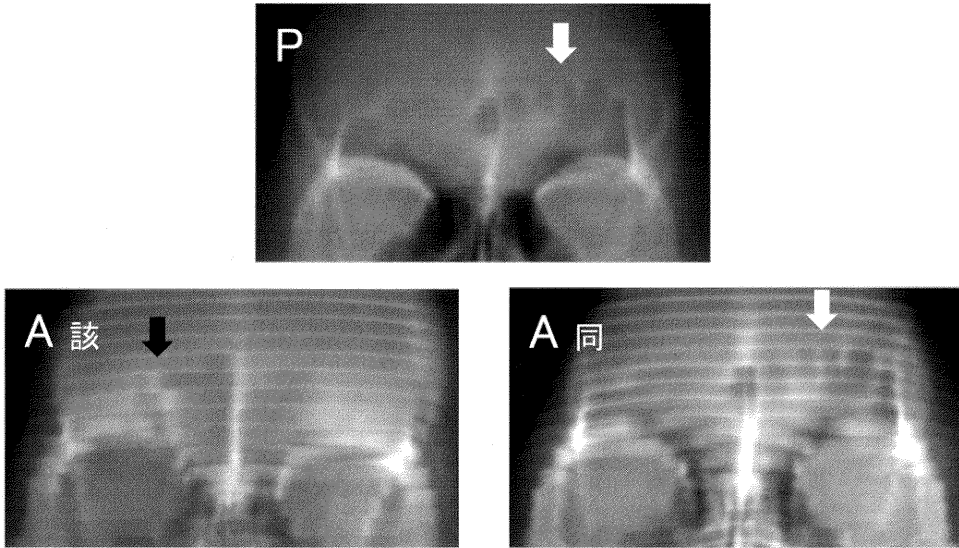


図9 RaySum 像同士の比較による異同識別が可能であった症例

- P) E (0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30) で該当者検索法を用いて、該当者が 1 件になった症例の 2mmPMHCT-RaySum 像. 左側前頭洞は分葉が多数あり (白矢印), 右前頭洞内には中隔構造がない.
- A 該) P) の該当者として絞り込まれた 5mmAMHCT-RaySum 像. 右側前頭洞に中隔構造 (黒矢印) が確認できる. 左側前頭洞には分葉らしき構造は認められない.
- A 同) P) と同一人の 5mmAMHCT-RaySum 像. 左側前頭洞の特徴的な分葉構造 (白矢印) が確認できる.

態分類を基本としており、同一人について生前死後での比較や、撮影条件の異なる画像の比較については述べられていない。2007 年に Pfaeffli が、生前の頭部単純 X 線写真と死後の 1-2mm スライス厚頭部 CT 画像の RaySum 像を用いて前頭洞の形態を比較し個人識別に利用したとの症例報告があるが<sup>8)</sup>、5mm スライス厚頭部 CT 画像の RaySum 像の利用について検証した報告は無い。

そこで本研究は、2mmPMHCT 画像と 5mm AMHCT 画像から作成した 2 種類の RaySum 像を用いて前頭洞の形態を比較することで、特に 5mmAMHCT 画像が個人識別に活用できるか検証することを目的とし、両者から観察可能な左右前頭洞の面積、幅、頂点位置、眼窩間距離を計測し、これらのパラメーターを利用した該当者検索法を考え、感度や特異度、該当者数などを比較した。

まず本研究で用いた 105 症例では、前頭洞の特殊な形態として、片側欠損例、片側あるいは両側

が非常に大きく発達した例などが認められた。

特に前頭洞が欠損している症例について、吉野らの報告では日本人男性で約 4.8% 両側前頭洞が欠損している (女性では報告なし) とされる<sup>2)</sup>。Kim らの報告では人種間で両側前頭洞が欠損している個体の出現率は異なり<sup>6)</sup>、例えば Canadian Eskimo では男女とも約 40% 程度で両側前頭洞欠損の個体がいると報告されているが<sup>11)</sup>、日本人では両側ないし片側が欠損している個体は珍しいものと考えられる。

前頭洞が非常に大きく発達した症例について、出現率を検証した報告はないが、例えば R, L が 1.5 以上, S が 2.5 以上, W が 3.0 以上, T が 1.0 以上などの条件を満たす症例はごく少数であった。

前頭洞の幅と頂点位置について、両者には強い正の相関が認められ、前頭洞の幅が狭く、上方に大きく発達しているものや、前頭洞の上方への発達が不良だが、左右に広く発達しているものは稀

であることが示唆された。

このように前頭洞の面積の大小や、上下左右方向のバランスが特殊な場合、その特徴をもとに該当者を絞り込める可能性があることが示された。

105症例の限定した集団内の結果になるが、本研究で提案した該当者検索法は、感度100%となる最小のE(0.419, 0.298, 0.632, 0.508, 0.335)を設定した時に特異度が85.0%となった(表3)。つまり、この条件で検索法を利用すると、同一人を漏らすことなく、類似した形態の前頭洞をもつ人物を該当者として絞り込むことが可能であった。ただし、この条件で105人の中から該当者を検索したとき、1症例あたりの平均該当者数は約17人となり、各症例で全ての該当者について1対1の異同識別を行うのに相当の作業時間を要することが考えられた。

そこで身元不明死体の個人識別について、差し当たりE(0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30)の条件を用い比較的少数に該当者を絞り込み、次に各画像を直接比較し異同識別を行う方法が実用であろうと考えられる(表4)。

本研究で用いた105症例にE(0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30)の条件で該当者検索法を用いた時、該当者が10人以下に絞り込まれた症例が66例あり、1人に絞り込まれた症例が7例あった(図8)。該当者が1人となった7症例のうち、6症例は同一人が該当者として絞り込まれた。残りの1症例は別人が該当者として絞り込まれたが、RaySum像同士を比較して異同識別を行ったところ、前頭洞の分葉構造などの特徴から、別人と判断することが可能であった(図9)。

2mmPMHCT画像と該当者の5mmAMHCT画像の比較で個人識別を行う際に、RaySum像上での前頭洞の計測値を用いた該当者検索法により、効率よく異同識別に導くことができる。また異同識別の手段として、RaySum像同士を比較する手法も利用できる可能性が示唆された。

本研究で使用した計測値差は、生前と死後、2mmスライス厚と5mmスライス厚という画像の撮影条件の変化と、検者の画像処理や各種計測の能力により影響される数値である。

生前と死後の撮影条件の変化について、本研究で使用した症例は全てPMHCTを行うまでの死後経過時間が数時間以内であり、骨構造の死後変化は考慮に入れていない。前頭洞の構造は20歳以降変化しないとされ<sup>4)</sup>、AMHCT撮影後の生前の構造変化も大きく影響しないと考えた。このため撮影条件の変化については、スライス厚の変化が大きな要因と考えられた。

2mmPMHCT-RaySum像から得たF<sub>2</sub>と5mmAMHCT-RaySum像から得たF<sub>5</sub>の計測値差が大きくなった原因について、5mmAMHCT-RaySum像上では最大幅や頂点位置を決定する前頭洞の左右、上下端の細かい構造を視認できず幅や頂点位置を小さく見積もる、眼窩上縁が判別しにくいことで、眼窩上縁線がずれ頂点位置が変化する、眼窩の一部を前頭洞の一部と見誤るなど原因が考えられた。また前頭洞の左右の別や下端が判別しにくい、前頭洞の分葉が複雑である、前頭洞が大きく発達し分葉が多数あるなどの特徴がある症例では、面積の計測値差が大きくなる傾向がみられた。いずれも5mmAMHCT-RaySum像上では正確に判別するのが困難であり、画像の質による限界と考えられた。

前頭洞の構造は、20歳以降変化しないとされるものの<sup>4)</sup>、一部の疾患で巨大化することがあり<sup>9)</sup>、他にも加齢性の変化として、前頭洞の辺縁の骨が吸収され拡大することがあると報告されている<sup>10)</sup>。このように生前に前頭洞構造が変化する例外的な症例が存在することも認識しておく必要がある。

また今回は一人の検者が全症例の画像処理を行い、各計測を行ったため、計測値差の検者間の差については考慮していない。しかしRaySum像作成の手法や各計測の精度については、検者の前頭洞周囲の顔面骨の構造理解や、画像処理操作についての習熟程度に依存すると考えられ、画像処理能力の異なる多数検者間の測定精度の差について今後の検証が必要である。

本研究で用いた手法の利点は、RaySum像にすることで、前頭洞の構造が理解しやすくなっていることと、あまり活用されていなかった5mmスライス厚頭部CT画像を利用できること、該当者



検索法の条件毎に目安となる感度と特異度を算出してあることである。

本研究で提案した該当者検索法は、異同識別を行う前段階の絞り込み手法として利用できる。該当者の絞り込み後の異同識別の手法について、Besana らの報告にあるように、単純 X 線画像などを用いて前頭洞の多数の特徴点を一対一で照らし合わせるスーパーインポーズ法<sup>4)</sup>が適しているとされるが、スーパーインポーズ法は必ずしも容易に行うことができない。今回用いた撮影条件の異なる 2 種類の RaySum 像は、前頭洞の分葉構造や眼窩の形態などの多数の特徴点を比較することで異同識別に利用できる可能性があり、5mm スライス厚の頭部 CT 画像も RaySum 像にして前頭洞の形態を比較することで個人識別に有効に活用できることが示された。

2007 年に Pfaeffli らが 2mm スライス厚頭部画像の RaySum 像と頭部単純 X 線写真を比較した報告で、1-2mm スライス厚で撮影された頭部 CT 画像の RaySum 像が X 線写真と同等の情報量を持つことが示されている<sup>8)</sup>。つまり、本手法は 5mmAMHCT と 2mmPMHCT を利用したものであるが、これを 5mmAMHCT と死後頭部単純 X 線写真を利用する手法に応用することも可能である。単純 X 線検査は、簡便で安価な検査法であり、先に日本で経験した東日本大震災のように 1 万人を超える犠牲者が出るような大規模災害時には非常に有用である。こうした際に死後頭部単純 X 線検査を行い、前頭洞の形態を比較する本手法を用いることができれば、多数の個人識別を効率的に行うことができると考えられる。

## 結 論

頭部 CT の RaySum 像を利用し 5 種類の計測値を用いて比較する該当者検索法は、該当者の絞り込みに有用であることが示された。また RaySum 像同士の比較で異同識別を行える可能性があり、5mm スライス厚の頭部 CT 画像も、RaySum 像を用いて前頭洞の形態比較をすることで、個人識別に有効に活用できることが示された。

## 謝 辞

本研究に際し、ご指導頂いた新潟大学医学部法医学分野教授 山内春夫先生、新潟大学大学院保健学研究科放射線技術科学分野教授 高橋直也先生、新潟県立大学人間生活部健康栄養学科教授 田邊直仁先生、ご協力頂きました新潟市民病院放射線科の皆様へ深謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) Harris AM, Wood RE, Nortjé CJ and Thomas CJ: The frontal sinus: forensic fingerprint? A pilot study. *J forensic Odontostomatol* 5: 9-15, 1987.
- 2) 吉野峰生：前頭洞形態のコード化によるヒト頭蓋の個人識別。科学警察研究所報告法科学編 40: 137-146, 1987.
- 3) Tatlisumak E, Yilmaz Ovali G, Aslan A, Asirdizer M, Zeyfeoglu Y and Tarhan S: Identification of unknown bodies by using CT images of frontal sinus. *Forensic Science International* 166: 42-48, 2007.
- 4) Besana JL and Rogers TL: Personal Identification Using the Frontal Sinus. *J Forensic Sci* 55: 584-589, 2010.
- 5) Kirk NJ, Wood RE and Goldstein M: Skletal Identification Using the Frontal Sinus Region: A retrospective Study of 39 cases. *J Forensic Sci* 47: 318-323, 2002.
- 6) Kim DI, Lee UY, Park SO, Kwak DS and Han SH: Identification Using Frontal Sinus by Three-Dimensional Reconstruction from Computed Tomography. *J Forensic Sci* 58: 5-12, 2012.
- 7) 片田和廣：MDCT 徹底攻略マニュアル。第 1 版、メジカルビュー社、東京、p53, 2002.
- 8) Pfaeffli M, Vock P, Dirnhofner R, Braun M, Bolliger SA and Thali MJ: Post - mortem radiological CT identification based on classical ante - mortem X - ray examinations. *Forensic Science International* 171: 111-117, 2007.
- 9) Acar M, Yucel A, Degirmenci B, Yilmaz MD and Albayrak R: Pneumocele vs. Pneumosinus Dilatans: Review of the Literature with a Case of Frontal sinus Pneumocele. *Tohoku J. Exp. Med* 202: 295-297, 2004.

- 10) Buckland - Wright JC: A radiographic examination of frontal sinuses in early British populations. *Man* 5: 512 - 517, 1970. Eskimo populations. *Am J Phys Anthropol* 52: 251 - 255, 1980.
- 11) Hanson CL and Owsley DW: Frontal sinus size in (平成26年1月17日受付)
-