

歯科パノラマ X 線写真における濃淡トップハットフィルタを用いた 石灰化領域の検出法の開発

林 達郎[†] 澤頭 毅[‡] 原 武史[†] 勝又 明敏^{††} 周 向栄[†] 村松 千左子[†]
飯田 幸弘^{††} 藤下 昌巳^{††} 藤田 広志[†]

[†] 岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

[‡] 岐阜大学工学部応用情報学科 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{††} 朝日大学歯学部口腔病態医療学講座歯科放射線学分野 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851

E-mail: [†] {hayashi, hara, zxr, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp, ^{††} kawamata@dent.asahi-u.ac.jp

あらまし 頸動脈の石灰化は、動脈硬化症の進行を予測するための一指標として注目されている。歯科パノラマ X 線写真は、頸動脈の石灰化の検出が可能である。本研究の目的は、歯科疾患の診断に使用されるパノラマ X 線写真の付加的な評価として、頸動脈の石灰化を自動検出する手法の設計である。提案手法では、まず、濃淡トップハットフィルタを用いて輝度値が局所的に高い領域を抽出する。次に、位置、輝度値、および形態に基づいて、石灰化の部位を特定する。23 症例による実験の結果、false positive (FP) が 12.4 個/症例のとき、81% (52/64 個) の石灰化部位の検出に成功した。症例単位では、96% (22/23 症例) の症例で石灰化部位を検出できた。したがって、提案手法が歯科パノラマ X 線写真で石灰化部位の検出に有用である可能性が示唆された。

キーワード 頸動脈, 石灰化, 歯科パノラマ X 線写真, 濃淡トップハットフィルタ, コンピュータ支援検出

A method to detect calcified region using grayscale top-hat filter on dental panoramic radiographs

Tatsuro HAYASHI[†] Tsuyoshi SAWAGASHIRA[‡] Takeshi HARA[†] Akitoshi KATSUMATA^{††}
Xiangrong ZHOU[†] Chisako MURAMATSU[†] Yukihiro IIDA^{††} Masami FUJISHITA^{††}
and Hiroshi FUJITA[†]

[†] Department of Intelligent Image Information, Division of Regeneration and Advanced Medical Sciences, Graduate School of Medicine, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1194 Japan

[‡] Department of Information Science, Faculty of Engineering, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1193 Japan

^{††} Department of Oral Radiology, Asahi University School of Dentistry, 1851 Hozumi, Mizuho-shi, Gifu, 501-0296 Japan

E-mail: [†] {hayashi, hara, zxr, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp, ^{††} kawamata@dent.asahi-u.ac.jp

1. はじめに

厚生労働省の調査によれば、平成 20 年の本邦における死因の第 1 位は悪性新生物 (30%)、第 2 位は心疾患 (15.9%)、第 3 位は脳血管疾患 (11.1%) である [1]。心疾患と脳血管疾患はいわゆる「動脈硬化性疾患」であり、動脈硬化がもたらす疾患として狭心症、心筋梗塞、および脳梗塞が挙げられる。急速に高齢化が進む本邦において、動脈硬化性疾患の予防は重要なテーマの一つである。

頸動脈の石灰化は、血管狭窄や虚血症状の危険性を予測するマーカーの一つとして利用できる可能性が報告されている [2]。近年、歯の治療のために撮影される歯科パノラマ X 線写真において、頸動脈の石灰化が確

認できるとの報告がある [3, 4]。その一方で、パノラマ X 線写真で発見された頸動脈の石灰化の存在は、必ずしも血管障害の続発を意味するわけではない [5]、パノラマ X 線写真による石灰化の検出感度は CT 画像と比べて低い [6]、などの報告もある。

頸動脈の石灰化や動脈硬化には自覚症状がないため、患者が早期に医療を受診する機会は少ないと考えられる。そこで、歯科治療のために撮影した歯科パノラマ X 線写真で頸動脈の石灰化を偶然発見したとき、患者に動脈硬化性疾患に罹患する危険性を説明すれば、早期の段階で医療機関を受診する機会が増加し、予防医療の観点で有用と考えられる。

歯科パノラマ X 線写真の読影では、歯科医は歯科疾患の診断に適したコントラストで観察するのが通常で

ある。この条件は、必ずしも頸動脈の石灰化の発見に適していない。さらに、歯科医は歯科疾患の診断に注視しているため、たとえ頸動脈の石灰化が歯科パノラマ X 線写真に描出されていたとしても、見落としの可能性を否定できない。本研究では、このような見落としの防止を目的として、歯科パノラマ X 線写真に描出される頸動脈の石灰化のコンピュータ支援検出 (computer-aided detection: CADe) システムの開発を目的とする。

2. 試料画像

本研究では、歯科疾患の診断のために朝日大学歯学部附属病院で撮影した歯科パノラマ X 線写真が使用する。歯科パノラマ X 線写真は、パノラマ X 線装置 (Veraview epocs, Morita, Japan) とイメージングプレート方式デジタル X 線システム (CR 75.0, Agfa, Germany) を用いて撮影した。撮影は、フランクフルト平面を基準線とする頭部の標準のポジショニングで行い、X 線被曝の制御には自動モードを使用し、DICOM 形式でコンピュータに保存されている。本研究では、頸動脈の石灰化がパノラマ X 線写真に描出された症例を用いる。すべての石灰化は、歯科医が CT 等のモダリティを用いて、その存在を確認している。

なお、本研究は、岐阜大学と朝日大学の倫理審査委員会にて承認を受けている。

3. 提案手法

提案手法の処理の流れを図 1 に示す。頸動脈の石灰化は局所的に輝度値が高い部位として観察されるため、濃淡トップハットフィルタによる検出を試みる。しかし、頸椎や舌骨などの骨にも局所的に輝度値の高い部位は多く存在する。そこで、提案手法では頸椎を識別し、頸椎を石灰化の検出対象外とする。その後、検出し

た石灰化の候補部位について、位置、輝度値、および形態を解析し、石灰化でない部位 (false positive: FP) を削除する。歯科パノラマ X 線写真を \mathbf{P} とし、以下のように定義する。

$$\mathbf{P} = \{p_{x,y} \mid (x,y) \in Z^2\} \quad (1)$$

ここで、 $p_{x,y}$ は画素 (x,y) の輝度値、 Z は整数を表す。

3.1. 石灰化の候補部位の検出

移動平均法により雑音を削除した画像 \mathbf{P}^* を得る。続いて、濃淡トップハットフィルタ [7] を適用し、局所的に輝度値の高い部位を強調する (図 1 (b) 参照)。

$$\mathbf{T} = \mathbf{P}^* - [(\mathbf{P}^* \ominus g^s) \oplus g] \quad (2)$$

ここで、 \oplus はミンコウスキー和、 \ominus はミンコウスキー差、 g は構造化要素 (半径 t mm の円) である。

その後、しきい値処理により、石灰化の候補部位を検出する (図 1 (c) 参照)。

$$\mathbf{C} = \begin{cases} 1 & \text{if } \mathbf{T} > \alpha \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 α は任意の定数である。

3.2. 頸椎の検出

頸椎は椎体が縦に連なっている。各椎体の境界にある終板は横方向のエッジとして観察できる。そこで、横方向のエッジを強調した画像 \mathbf{G}_y を生成する。

$$\mathbf{G}_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * \mathbf{P}^* \quad (4)$$

ここで、 $*$ は 2 次元の畳み込み演算を表す。

次に、画像の横幅の左右 1/4 の領域について、列ごとに \mathbf{G}_y の値が β 以上である画素の個数を計算する。

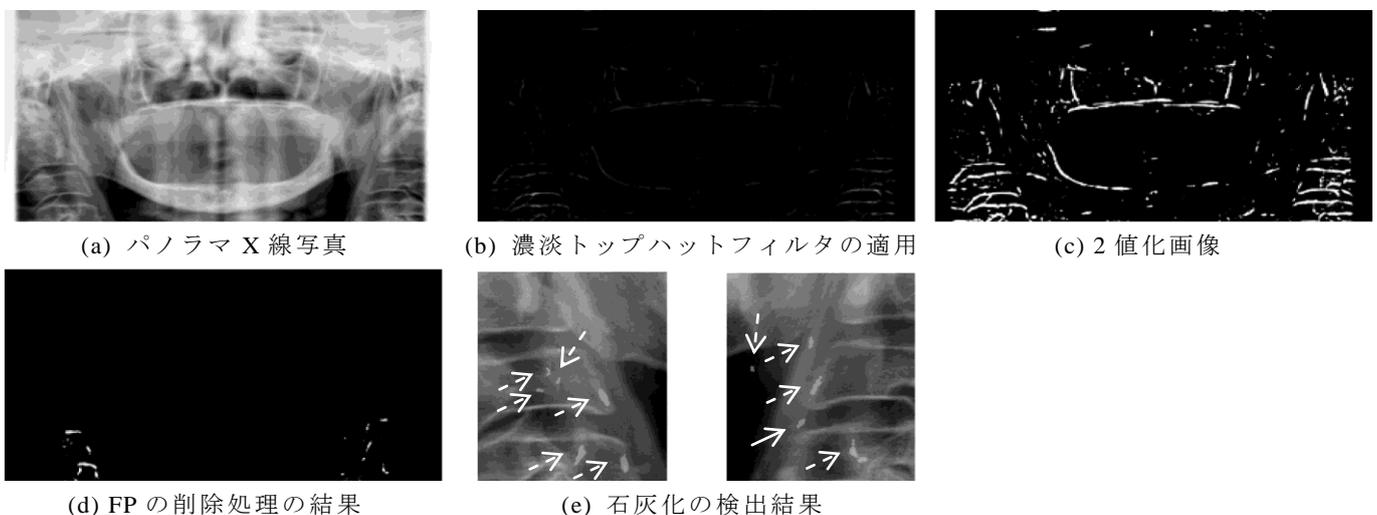


図 1 提案手法の概要。(e)は(d)で特定した石灰化の検出位置を拡大し、提案手法による石灰化の出力結果をパノラマ X 線写真に重ねて表示している。また、実線の矢印が TP (真陽性)、破線の矢印が FP を表す。

左右それぞれについて、画像の中心から外側にその個数が γ 以上になる位置 cl と cr を調べる。これらの位置を頸椎の境界とみなし、そこから外側を石灰化の検出部位から除外する。

$$C^* = \begin{cases} C & \text{if } (cr_x \leq x \leq cl_x) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

3.3. FP の削除

パノラマ X 線写真で頸動脈が描出される位置はある程度予測できる。そこで、画像の絶対位置情報を用いて頸動脈の存在位置を限定する。さらに、石灰化の候補部位について、輝度値と形状による FP の識別処理を行う (図 1 (d, e) 参照)。

4. 結果

23 症例 (64 箇所) の石灰化が含まれる) のパノラマ X 線写真に提案手法を適用した。実験では、移動平均法のマスクサイズを 7×7 画素とし、下顎骨の輪郭は手動で設定した。また、パラメータは、 $\alpha = 175$, $\beta = 200$, $\gamma = 6$, $t = 1.5$ で固定して行った。これらの値は経験的に決定した。

結果の一部を図 2 に示す。Case 1 は 2 つの石灰化が描出されている。提案手法では、FP を 1 つ検出したが、石灰化は 2 つとも検出できた。Case 2 は舌骨付近に石灰化が描出された例である。提案手法では石灰化の検出に成功した一方で、舌骨で多くの FP も検出した。Case 3 は今回の実験で唯一 TP を 1 箇所も検出できなかった症例である。この石灰化は陰影が淡く、背景領域の境界に位置していたため、濃淡トップハットフィルタでは、周辺との輝度値の差を十分に強調できなかつた。

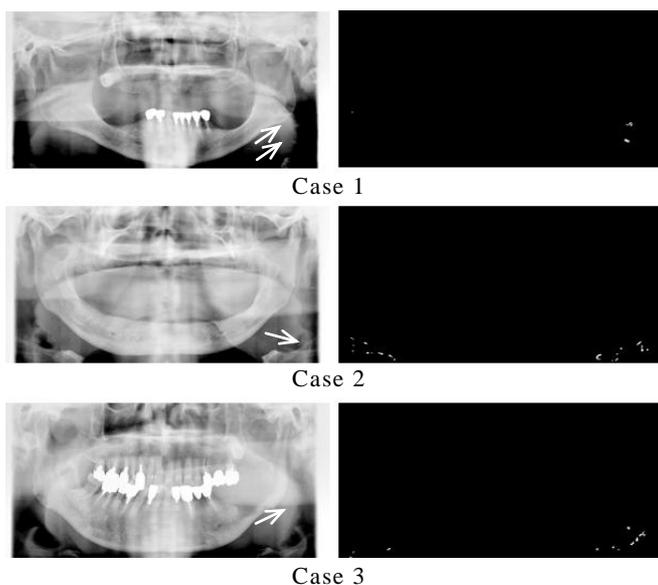


図 2 出力結果。左側が原画像、右側がシステムによる石灰化の出力であり、原画像上の矢印が石灰化の位置を示す。

った。

石灰化領域の中で 1 画素以上検出すれば、その石灰化部位の検出が成功と判定したところ、FP が 12.4 個/症例のとき、52/64 箇所 (81%) の頸動脈の石灰化の検出に成功した。症例単位では、22/23 症例 (96%) で 1 つ以上の石灰化部位の検出に成功した。

図 2 の Case 2 と Case 3 に見られるように、FP の多くは舌骨の一部を石灰化として誤検出した。事前に舌骨を抽出し、石灰化の検出対象から除外すれば、FP の削減に有効であると考えられる。よって、今後、舌骨の抽出手法の実装に取り組む予定である。

5. 考察

近年、歯科パノラマ X 線写真を用いた頸動脈石灰化の検出に注目が集まっており、いくつかの研究が報告されている [3, 4, 8-18]。例えば、Bayram 等 [8] は 4106 人のパノラマ X 線写真で評価し、88 人 (2.1%) で石灰化の存在を確認した。また、Sisman 等 [3] は 750 人のパノラマ X 線写真で評価し、38 人 (5.1%) で石灰化の存在を確認した。これらの患者に医療機関の受診を促すことにより、予防医療への貢献が期待される。

歯科パノラマ X 線写真はぼけた像になりやすく、頸動脈石灰化を検出するにはパノラマ X 線写真に関する読影技術を要する。本研究では、歯科医による石灰化の検出をコンピュータで支援するシステムに対する潜在的な需要は高いと想定し、頸動脈石灰化の自動検出システムを開発した。石灰化の検出に関する従来の研究では、棟安等 [19] が全体的にコントラストの悪い歯科パノラマ X 線写真に対応するために、ファジィ濃度強調法と代数的画像オペレータを併用した手法を提案した。しかし、健常者で石灰化を誤検出する機会が多い等の問題点が指摘され、棟安等のアプローチを改善した手法が新庄等 [20] によって提案された。新庄等は、 300×300 の関心領域を設定し、石灰化と想定される面積やサイズを規定することにより、誤検出の大幅な削減に成功した。ただし、新庄等の手法では、関心領域を手動で指定する必要があるため、歯科医の読影負担の増加につながる恐れがある。

現時点では、本手法も頸動脈の位置を経験的に決定しているが、われわれの研究グループでは、下顎皮質骨の厚みを自動計測する手法も並行して開発している [21]。さらに、形状モデルを用いて下顎皮質骨を自動検出するアプローチも提案されている [22]。今後、これらの手法で用いている技術を取り入れて、頸動脈の位置を自動的に特定し、石灰化が全自動で検出されるように、手法を改善する予定である。

6. まとめ

歯科パノラマ X 線写真における頸動脈石灰化の自動

検出法を提案した。実験の結果、FPが12.4個/症例のとき、81%の石灰化の検出(症例単位では96%)に成功し、提案手法が有用である可能性を示唆した。

今後の課題として、FP削除法の改善と多施設による大規模実験により、提案手法の有用性を実証することが挙げられる。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、有益なご助言をいただいた藤田研究室の方々、片木喜代治氏はじめ朝日大学病院の方々、タック(株)の方々、および岐阜県研究開発財団の柳瀬氏と四ッ谷氏に感謝の意を表します。本研究の一部は都市エリア産学官連携促進事業(発展型)岐阜県南部エリア「モノづくり技術とITを活用した高度医療機器の開発」、科学研究費補助金(若手研究B:21700462)、および財団法人骨粗鬆症財団リリー研究助成金によって行われました。

文 献

- [1] 厚生労働省, “平成 20 年人口動態統計月報年計(概数)の概況,” <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai08/index.html>.
- [2] KR Nandalur, E Baskurt, KD Hagspiel, M Finch, CD Phillips, SR Bollampally, and CM Kramer, Carotid artery calcification on CT may independently predict stroke risk, *AJR Am J Roentgenol*, 186 (2): 545-52, 2006.
- [3] Y Sisman, E Ertas, C Gokce, A Menku, M Ulker, and F Akgunlu, The prevalence of carotid artery calcification on the panoramic radiographs in Cappadocia region population, *Eur J Dent*, 1 (3): 132-138, 2007.
- [4] M Kumagai, T Yamagishi, N Fukui, and M Chiba, Long-term cigarette smoking increases the prevalence of carotid artery calcification seen on panoramic dental radiographs in male patients, *Tohoku J Exp Med*, 212 (1): 21-5, 2007.
- [5] 森本泰宏, 田中達朗, 鬼頭慎司, 岡部幸子, 大庭健, “高齢者におけるパノラマ X 線写真上で検出される頸動脈の石灰化は脳血管障害と関係があるのか?,” *九歯大・画像診断歯科放射線*, 45 (4): 203-204, 2006.
- [6] SJ Yoon, W Yoon, OS Kim, JS Lee, and BC Kang, Diagnostic accuracy of panoramic radiography in the detection of calcified carotid artery, *Dentomaxillofac Radiol*, 37 (2): 104-8, 2008.
- [7] 小畑秀文, *モルフォロジー*. コロナ社, 東京, 1996.
- [8] B Bayram, S Uckan, A Acikgoz, H Müderrisoglu, and A Aydinalp, Digital panoramic radiography: a reliable method to diagnose carotid artery atheromas?, *Dentomaxillofac Radiol*, 35 (4): 266070, 2006.
- [9] JS Hubar, Carotid artery calcification in the black population: A retrospective study on panoramic radiographs, *Dentomaxillofac Radiol*, 28 (6): 348-50, 1999.
- [10] AH Friedlander, A Lande, Panoramic radiographic identification of carotid arterial plaques, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 52 (1): 102-4, 1981.
- [11] SN Cohen, AH Friedlander, DA Jolly, and L Date, Carotid calcification on panoramic radiographs: and important marker for vascular risk, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 94 (4): 510-4, 2002.
- [12] T Tamura, M Inui, M Nakase, S Nakamura, K Okumura, and T Tagawa, Clinicostatistical study of carotid calcification on panoramic radiographs, *Oral Dis*, 11 (5): 314-7, 2005.
- [13] S Pornprasertsuk-Damrongsri, S Thanakun, Carotid artery calcification detected on panoramic radiographs in a group of Thai population, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 101 (1): 110-5, 2006.
- [14] DA Lewis, SL Brooks, Carotid artery calcification in a general dental population: a retrospective study of panoramic radiographs, *Gen Dent*, 47 (1): 98-103, 1999.
- [15] M Kumagai, T Yamagishi, N Fukui, and M Chiba, Carotid artery calcification seen on panoramic dental radiographs in the Asian population in Japan, *Dentomaxillofac Radiol*, 36 (2): 92-6, 2007.
- [16] BW Beckstom, SH Horsley, JP Scheetz, Z Khan, AM Silveira, SJ Clark, H Greenwell, and AG Farman, Correlation between carotid area calcifications and periodontitis: a retrospective study of digital panoramic radiographic findings in pretreatment cancer patients, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 103 (3): 359-66, 2007.
- [17] T Tanaka, Y Morimoto, T Ansai, S Okabe, K Yamada, A Taguchi, S Awano, S Kito, Y Takata, T Takehata, and T Ohba, Can the presence of carotid artery calcification on panoramic radiographs predict the risk of vascular diseases among 80-year-olds?, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 101 (6): 777-83, 2006.
- [18] T Ohba, Y Takata, T Ansai, Y Morimoto, T Tanaka, S Kito, S Awano, S Akifusa, and T Takehara, Evaluation of calcified carotid artery atheromas detected by panoramic radiograph among 80-year-olds, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 96 (5): 647-50, 2003.
- [19] 棟安実治, 長谷川憲司, 浅野 晃, 田口 明, 谷本啓二, “歯科パノラマ X 線写真における石灰化領域の一検出法,” *電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, SIS2007-36*: 29-34, 2007.
- [20] K Shinjo, M Muneyasu, K Fujita, A Asano, and A Taguchi, Improvement of the detection method for carotid artery calcification in dental panoramic radiographs, *Proc. 2009 international symposium on intelligent signal processing and communication systems (ISPACS2009)*, MP1-C-1: 119-122, 2009.
- [21] 松本拓也, 林 達郎, 原 武史, 勝又明敏, 周 向榮, 村松千左子, 飯田幸弘, 藤下昌巳, 藤田広志, “歯科パノラマ X 線画像における下顎骨の皮質骨の厚みの自動計測手法の開発,” *信学技報*, 印刷中, 2010.
- [22] H Devlin, PD Allen, J Graham, R Jacobs, K Karayianni, C Lindh, PF van der Stelt, E Harrison, JE Adams, S Pavitt, and K Horner, Automated osteoporosis risk assessment by dentists: A new pathway to diagnosis, *Bone* 40 (4): 835-42, 2007.