

頭蓋骨縫合部の形成モデルの構築

1 T-02

長嶺共全¹ 小野謙三² 宮島佐介³

[1]名古屋大学大学院人間情報学研究科 [2]公立陶生病院病理部 [3]中部大学応用生物学部応用生物化学科

1. はじめに

頭蓋骨は 15 種 23 個 (前頭骨、頭頂骨×2、側頭骨×2、後頭骨、蝶形骨、篩骨、下鼻甲介×2、涙骨×2、鼻骨×2、鋤骨、上顎骨×2、口蓋骨×2、頬骨×2、下顎骨、舌骨) [1]の骨により構成されており、それらのほとんどが軟骨と縫合により固く結合している。しかしながら、その頭蓋骨縫合部 (矢状縫合、冠状縫合、人字縫合) は、生まれた直後にはまだ出来ておらず、骨の成長とともに形成されていくのである。そして、その頭蓋骨縫合部の形は、非常に複雑でフラクタルな形を示しているように見える[2]。

本研究では、実際の頭蓋骨縫合部のフラクタル性を研究するとともに、頭蓋骨縫合部の形成モデルを試作し、その結果生じる縫合部のフラクタル性を調べる。そして、実際のものと比較し、頭蓋骨縫合部の形成における最要因を考察する。

2. 頭蓋骨縫合部の形成モデル

頭蓋骨縫合部は、成長とともに徐々に骨が付加的成長をし、いずれ形成される部位であるため、その縫合部の形成プロセスを図 1 のように予想した。左右の頭頂骨が、骨の付加的成長に従って、徐々に成長し、いずれその 2 つの頭頂骨は衝突を引き起こし、その衝突部が頭蓋骨縫合部 (図 1 破

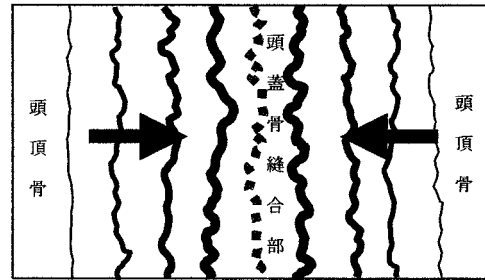


図 1 頭蓋骨縫合部の形成プロセスの予想図

左右の最も細い曲線が最初の頭頂骨で、その線が矢印に従って骨が成長していく、そして、中央の破線で左右の頭頂骨が衝突し、頭蓋骨縫合部を形成する。

線) を形成するのである。ここで、その形成プロセスは、まるで液体が紙に染み込んでいく浸透現象に非常によく似ているように見える。つまり、頭蓋骨縫合部は、液体が紙面上に作り出す浸透衝突界面[3]と同じフラクタル性を有するのでは、と考えた。その液体の作り出す浸透衝突界面は、すでに粗さ指数 α が 0.67 を示す自己アファインフラクタルであることが知られている[3]。ここで、その粗さ指数 α とは次のように定義されている。複雑な成長界面のゆらぎは成長初期の頃、時間の経過とともに大きくなっていくが、いずれ落ち着く傾向にある[4]。そして、その落ち着いたゆらぎ σ と成長幅 L との関係は、粗さ指数 α を用いて、

$$\sigma \sim L^\alpha \quad (1)$$

であることがすでに報告されている[4]。ここで、ゆらぎ σ は、成長界面の高さの標準偏差である。

また、液体の浸透現象を模擬したモデルでは、イーデンモデル[4,5]が用いられているので、この頭蓋骨縫合部の形成モデルもイーデンモデルをもとに構築した。しかし、イーデンモデルだけで形成されるイーデン衝突界面[5]は非常に滑らかなので、より複雑な頭蓋骨縫合部を形成するために、

Construction of the Formational Model for the Sutural Part in Human Cranium.

Tomomasa NAGAMINE¹, Kenzo ONO² and Sasuke MIYAZIMA³

[1]Graduate School of Human Informatics, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, JAPAN

[2]Department of Pathology, Tosei General Hospital, Seto, Aichi 489-8642, JAPAN.

[3]Department of Biological Chemistry, Chubu University, Kasugai, Aichi 487-8501, JAPAN

また、頭蓋骨の外郭は血管に近いことを考慮し、骨の成長を促進させる骨成長促進物（間葉細胞）を骨成長先端間の間隙内にランダムに配置する。図2には、本モデルの初期状態 (a) と最終状態 (b) が示されている。まず、本モデルは、図2(a)

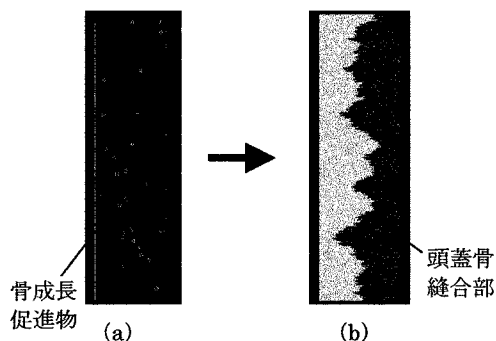


図2 頭蓋骨縫合部の形成モデルの開始と終了
(a) 初期状態。2本の縦線が頭頂骨に相当し、骨成長先端間の間隙内に骨成長促進物が散在している。
(b) 最終状態。左右の頭頂骨が衝突し、その衝突個所に、複雑な頭蓋骨縫合部を形成している。

のように一直線状に並べた頭頂骨細胞を左右に配置した初期状態から始まり、その細胞に付加的に骨細胞を接着させる。さらに、その左右の頭頂骨は、成長途中で、ランダムに配置された骨細胞に接触した個所を取り込みながら、成長すると考える。その結果、いずれ左右の頭頂骨同士は衝突を引き起こし、図2(b)のような頭蓋骨縫合部が形成される。そして、そのフラクタル性を式(1)に従って求め、実際の頭蓋骨縫合部の結果と比較する。

3. 結果&考察

本モデルにより形成された頭蓋骨縫合部の粗さ指数を式(1)に従って求めた結果、その粗さ指数は、骨成長促進物密度との関係から図3のようなグラフを得た。横軸はその計算時に用いた骨成長促進物密度、縦軸は本モデルから計算された粗さ指数である。

実際の頭蓋骨縫合部は、式(1)に従って計算

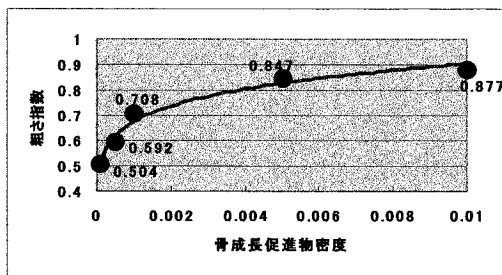


図3 粗さ指数と骨促進物密度との関係

縦軸が、本モデルによって形成された頭蓋骨縫合部の粗さ指数で、横軸が骨成長促進物密度である。プロット点が本シミュレーションの結果であり、曲線がそれを近似している。そして、その曲線は、実際の頭蓋骨縫合部の粗さ指数0.73を含んでいる。

すると、その粗さ指数は 0.73 ± 0.04 となり、自己アファインなフラクタル性を示すことが分かった。一方、液体が作り出す浸透衝突界面の粗さ指数は0.67であった。本モデルにより作成された図3のグラフは、実際の頭蓋骨縫合部の結果0.73をその曲線内に含んでいる。そのため、頭蓋骨縫合部の形成には、骨の成長を促進させる何らかの要因が非常に重要な役割を果たしている可能性が高いと考える。

参考文献

- [1]溝口優司:『頭蓋の形態変異』(勉誠出版, 2000).
- [2]宮島佐介, 太田康仁, 西原宏:“頭蓋骨縫合部のフラクタル構造”, 総合工学4, pp.23-26 (中部大学総合工学研究所, 1992).
- [3]T. Nagamine, K. Maruyama and S. Miyazima: “Roughness Exponent of the Self-Affine Interface Made by Collision of Two Independent Rough Growing Surfaces”, *Fractals* 1, 998-1001 (World Scientific Publishing, Singapore, 1993).
- [4]T. Vicsek: *Fractal Growth Phenomena* (World Scientific Publishing, Singapore, 1989) 宮島佐介訳『フラクタル成長現象』(朝倉書店, 1990).
- [5]T. Nagamine, S. Miyazima and J. Kertesz: “Fractal Properties of the Eden Collision Interface”, *Physica A* 233, 897-904 (1996).