

室戸半島層群産の生痕化石を用いた地層の圧密の定量的推定

泉 賢太郎 (千葉大学教育学部)
〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

Kentaro Izumi (Faculty of Education, Chiba University)
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522, Japan

要旨 本研究では、圧密に伴う地層の層厚の減少率を定量的に推定することを目的として、室戸半島層群産の生痕化石 *Planolites isp.* (=ワーム状の無脊椎動物によるチューブ状の巣穴の化石) を対象とした研究を実施した。キラメッセ室戸の裏手の露頭において詳細な地質調査と *Planolites isp.* の計測を行った。その結果、調査セクションは泥勝ちな砂泥互層であり、泥岩中からは普遍的に *Planolites isp.* が産出することが分かった。*Planolites isp.* の径は約 2~20 mm であり、巣穴内には砂質な充填物が認識できる。*Planolites isp.* のアスペクト比は、ばらつきはあるものの、*Planolites isp.* の径のサイズに依らず一定の値を示す傾向があることが分かり、平均値は 1.61 であった。*Planolites isp.* の初生的なアスペクト比が 1.10 であるという先行研究のデータに基づき、砂質堆積物の圧密に伴う層厚の減少率を算出した結果、32.7% という値が得られた。また、調査セクションから得られた *Planolites isp.* を含む泥岩試料の薄片観察を実施した先行研究のデータを引用すると、泥質堆積物の圧密に伴う層厚の減少率は、83.0% である。本研究によって、圧密に伴う層厚の減少率を定量的に推定することが可能となった。これらのデータは、地層の真の堆積速度の算出の際に必要な不可欠である。地層の真の堆積速度を推定することは、例えば室戸半島層群のように海溝域で形成された地層の場合、海溝域における物質収支を見積もる際に重要になる。

また本研究の成果は、ツーリズムや教育にも活用できる。具体的には、地層中の生痕化石については、専門的な器具を使うことなく肉眼で観察できること、そして化石に興味を持つ人が一定数存在することから、ツーリズムの材料となり得る。また、地層の圧密という現象については、小・中学校での既習事項をベースにすることで、中学校・高等学校における発展的な課外学習のトピックになり得る。*Planolites isp.* の計測に必要なのはノギスのみであり、比較的安価に入手できるノギスを揃えることで、本研究のアプローチを実際に生徒自身が取り組むことも可能である。

キーワード 室戸半島層群、砂岩、泥岩、圧密、生痕化石

1. 関連するこれまでの先行研究と問題点について

継続的な堆積作用及びその後の続成作用に伴って、地層は圧密を受けて収縮する（例えば Kochman and Matyszkiewicz, 2013）。圧密はあらゆる地層で普遍的に進行する現象であるため、圧密の程度を定量的に推定することは、層序学や堆積学の分野において非常に重要である。

地層の圧密の程度は岩相や埋没深度と深く関係しており、圧密の程度の指標として、しばしば地層の空隙率が用いられる（例えば Mondol et al., 2007）。ただし、地層の初生的な堆積構造を正しく評価したり、あるいは地層の真の堆積速度を算出したりする際には、地層の厚さの減少率を正確に知ることが重要である。特に、碎屑岩の場合には、それを構成している碎屑物の粒度や組成等が、圧密の程度に大きく影響を与えることが指摘されている（例えば Kochman and Matyszkiewicz, 2013）。一般的には、より粗粒な砂質堆積物に比べて、細粒な泥質堆積物の方が、圧密に伴う層厚の減少は大きい。

しかし、圧密に伴う地層の空隙率の変化に関しては豊富な先行研究例がある一方、圧密に伴う層厚の減少率に関する定量データは非常に乏しい。

2. 問題解決のための方策とそのアプローチについて

本研究では、圧密に伴う地層の層厚の減少率を定量的に推定することを目的として、地層中に見られる生痕化石に注目した。地層中に見られる生痕化石は、圧密に伴う層厚の減少を定量的に推定する際に有効であることが指摘されている（例えば Lobza and Schieber, 1999）。室戸半島には、室戸半島層群と呼ばれる付加体を構成している深海成の地層が広く分布しており、多数の生痕化石が産出する（例えば Nara and Ikari, 2011）。

実際に申請者は、室戸半島層群産の生痕化石（*Planolites isp.* という種類の生痕化石）の観察に基づき、地層の圧密の定量的な推定を試みてきた（Izumi et al., 2017）。しかし、Izumi et al. (2017)のデータは予察的なものであり、*Planolites isp.*の形態の層序的な変化やサイズによる差異などについては未検討である。したがって本研究では、先行研究の問題点を解決し、本研究の目的を達成するために、室戸半島層群の野外地質調査を実施し、*Planolites isp.*の形態を詳細に観察する。

*Planolites isp.*は海成堆積物中に普遍的に産出し、チューブ状のシンプルな形態を持つ巣穴の化石である。形成生物については特定されていないが、一般的にはワーム状の無脊椎動物による巣穴と考えられている。圧密による層厚の減少率を推定するために、先行研究（Izumi et al., 2017）では *Planolites isp.*の断面のアスペクト比に注目した。本研究でも同様に、*Planolites isp.*の断面のアスペクト比の計測データを用いて考察を行っていく。すなわち、ワーム状の無脊椎動物によって海底堆積物中に形成された巣穴は理想的には円柱状の構造であるため、堆積当初（＝圧密を受ける前）は、*Planolites isp.*の断面のアスペクト比は1（あるいは、ほぼ1）である。それに対して、圧密が進行して地層が薄く収縮すると *Planolites isp.*も鉛直方向につぶれるため、その断面のアスペクト比は1より有意に大きくなることが予想される。

3. 調査及び研究の結果と、そこから得られた新しい知見について

本研究では、キラメッセ室戸の裏手の露頭において、詳細な野外地質調査を実施した。調査期間内に、約 280 cm の層厚を持つ地層セクションを選定し、岩相柱状図の作成を行い、計 107 個の *Planolites isp.* について、径の計測を行った (図 1)。 *Planolites isp.* の計測の際には、層理面と水平方向の径 (Burrow horizontal diameter; BHD) と層理面と直行方向の径 (Burrow vertical diameter; BVD) を計測し、BHD/BVD の計算によって *Planolites isp.* の断面のアスペクト比 (Burrow aspect ratio) を算出した。



図 1. 室戸半島層群から産出する生痕化石 *Planolites isp.*。写真中央部に、*Planolites isp.* の断面が 2 つ確認できる。

本研究による地質調査及び計測の結果を図 2 に示す。調査した地層セクションは、砂岩層と泥岩層の繰り返しの繰り返しによって特徴づけられる。まれに 10 cm 程度の層厚を持つ砂岩も見られるが、調査セクション内の砂岩層は一般的には数 cm 以下であることが多く、泥勝ち砂泥互層と言える。

また、調査セクションの泥岩中には、*Planolites isp.* が普遍的に産出することも明らかになった。*Planolites isp.* のサイズ (BHD) は、多くのものが 2~20 mm であったが、ある程度のばらつきがある。得られたデータを解析した結果、平均値は 7.59 mm で、標準偏差は 3.86 mm であった (7.59 ± 3.86 mm)。*Planolites isp.* のサイズは層準ごとにある程度変化しているようにも見受けられる。特に、図 2 における -165 cm、-70~-30 cm、70~90 cm の層準においては、比較的大型の *Planolites isp.* が産出している。しかしながら、*Planolites isp.* の詳細な層序変化パターン及びその要因については、本研究のデータのみからは不明瞭な部分が多く、これについては今後の課題である。

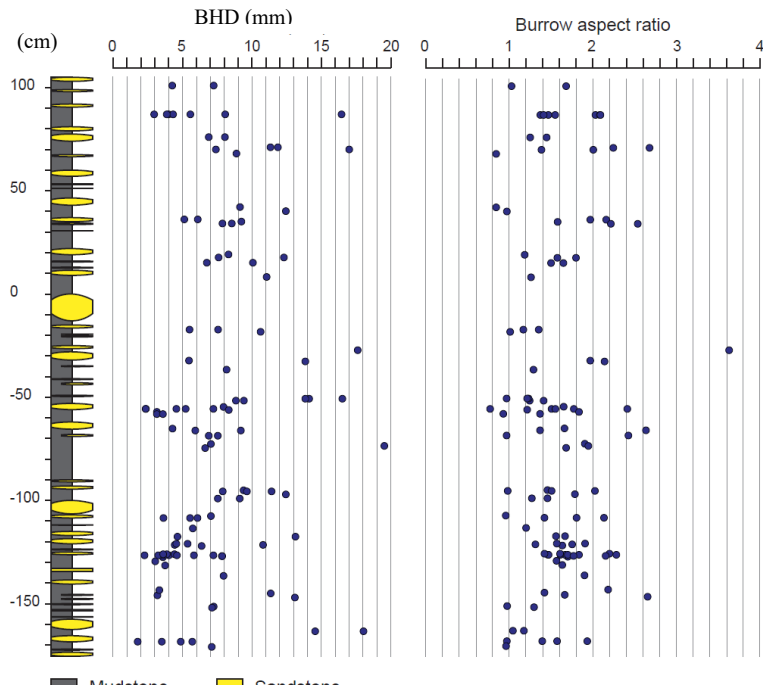


図 2. 調査セクションの柱状図と、*Planolites isp.* のサイズ (BHD) とアスペクト比のデータ。

一方、*Planolites isp.* のアスペクト比については、まれに 1 より小さい値を持つものもあ

ったが、多くは1より大きい値を示した(約0.9~3.6)。アスペクト比についてもばらつきが大きく、得られたデータを解析した結果、平均値は1.61で、標準偏差は0.47であった(1.61±0.47)。前述の通り、先行研究(Izumi et al., 2017)においては、地層の圧密に伴う層厚の減少率を推定する際に *Planolites isp.*のアスペクト比が用いられていたが、サイズによるアスペクト比の変化の有無等、詳細については検討されていない。

そこで、*Planolites isp.*のサイズによってアスペクト比に変化が見られるのかを検討するために、両者の相関関係を解析した(図3)。その結果、両者の相関係数は非常に小さく($R^2 = 0.0051$)、ほとんど相関関係が見られないことが明らかになった。すなわち、*Planolites isp.*のサイズ(BHD)によらず、アスペクト比は一定の値を持つことが示唆される。実際に、両者の回帰直線(図3の点線)の傾きはほぼ0で(0.0088)、数式からもこの傾向は支持される。したがって、本研究によって得られた *Planolites isp.*のアスペクト比の平均値(1.61)を、室戸半島層群産の *Planolites isp.*の代表的なアスペクト比の値と見なすことができる。

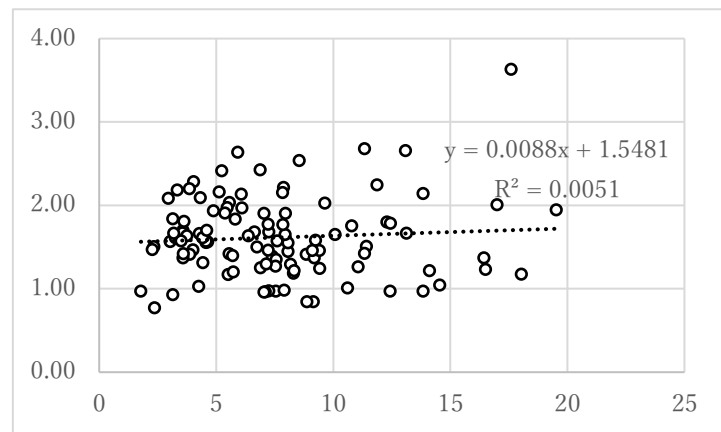


図3. *Planolites isp.*のサイズ(BHD)とアスペクト比の相関関係。グラフの横軸はBHD(mm)であり、縦軸がアスペクト比である。

先行研究によると、現世の未固結堆積物中で産出する *Planolites isp.*のアスペクト比は、1.10±0.37である(Izumi et al., 2017)。前述の通り、理想的には現世 *Planolites isp.*は圧密を受けておらず、またワーム状の無脊椎動物による巣穴断面は円形と仮定できることから、未固結堆積物中の *Planolites isp.*のアスペクト比は1(あるいは1に極めて近い値)であると想定されるが、Izumi et al. (2017)のデータは、実際には現世 *Planolites isp.*のアスペクト比は多少ばらつきを持つということを示している。それでも、平均値は1.10なので、ほぼ1に近い値を持つ、という傾向は変わらず支持されている。先行研究(Izumi et al., 2017)による薄片観察と本研究による野外観察の結果、*Planolites isp.*は砂質な充填物を持つことが分かった。これらのことから、圧密の進行によって砂質な充填物を持つ *Planolites isp.*のアスペクト比が1.10から1.61に変化したと想定できるため、砂質堆積物の圧密に伴う層厚の減少率は32.7%であると算出できる。言い換えると、100 cmの層厚の砂質堆積物は、圧密の進行によって32.7 cm層厚が減少し、圧密後(=固結した砂質堆積物)の熱さは66.3 cmに変化する、ということである。

また、先行研究による薄片観察の結果、*Planolites isp.*の輪郭に沿って、泥岩中の葉理が湾曲している様子が観察された(Izumi et al., 2017)。このことは、砂質堆積物よりも泥質堆積物の方が圧密による層厚の減少率が高いことを示している。Izumi et al. (2017)では、実際にアスペクト比1.71の *Planolites isp.*を含む薄片を詳細に検討し、当該 *Planolites isp.*のサイズ(BVD)に比べて、隣接する葉理間の層厚は26.4%であることを示している。この観察事実と、現世 *Planolites isp.*の平均的なアスペクト比が1.10であることを併せて考

慮すると、泥質堆積物の圧密に伴う層厚の減少率は83.0%であると算出できる(Izumi et al., 2017)。言い換えると、100 cmの層厚の泥質堆積物は、圧密の進行によって83.0 cm層厚が減少し、圧密後(=固結した砂質堆積物)の熱さは27.0 cmに変化する、ということである。

4. 得られた知見の発展性について

前節で述べた通り、本研究(+自身の先行研究)のデータによって、圧密に伴う砂質堆積物及び泥質堆積物の層厚の減少率は、それぞれ32.7%及び83.0%であることが分かった。したがって、これらの推定値を用いることによって、付加体を構成する地層である室戸半島層群の初生的な(=堆積当時の)層厚や、真の堆積速度の見積もりが可能になる。特に堆積速度については、特定の物質のフラックスを計算する際に必要となる値である。したがって将来的には、本研究によるデータは、海溝域における物質循環を定量的に議論する際の重要な知見になってくるであろう。

一方で、本研究(+自身の先行研究)によって得られた値(32.7%及び83.0%)は、室戸半島層群という特定の地層、及びそこに含まれる生痕化石 *Planolites isp.*の観察に基づく知見である。したがって、その他の地層においても、圧密に伴う層厚の減少率が同一の値を取るという保証は無い。前述の通り、一般的には、圧密に伴う層厚の減少率は粒度によって大きく異なると考えられている。しかしながら先行研究によると、特に泥質堆積物については、層厚の減少率をコントロールする粒度以外の重要な要因として、泥質堆積物中の化学組成(具体的には、生物源炭酸塩の含有量)が挙げられている(Izumi et al., 2017)。砂質堆積物については、圧密に伴う層厚の減少率が、粒度や化学組成を考慮して総合的に検討されている研究事例は無い。このような現状を考えると、本研究による定量データは、砂質堆積物・泥質堆積物問わず、将来的に、広く碎屑物の圧密に伴う層厚の減少率を推定する一般則を見出すための重要な一次証拠となるであろう。

5. 得られた知見から教育やツーリズムへの活用について

まず第一に、地層中の生痕化石をツーリズムに活用できると考える。図1にも示すように、生痕化石の多くは特別な専門器具を使うことなく、地層中において肉眼で認識することができる。一般的には、化石の観察と聞くと、大掛かりな発掘作業が必要になると考える人が多いと思われる。化石に興味を持つ人が一定数存在することを考えると、「室戸に来たら手ぶらで化石体験」という謳い文句を掲げることで、化石に興味を持っている層に訴えかけることが可能であろう。実際に、室戸半島層群からは多くの生痕化石が産出することが知られており(例えば Nara and Ikari, 2011)、中でも特に、二枚貝類の這跡化石である *Protovirgularia* が地元では有名であろう。本研究で扱った *Planolites isp.*は、シンプルな形状をしており、地層中から普遍的に産出する。したがって、写真や模式図等を入れ込んだ簡単な解説ボードのようなものを現地に設置することにより、地質学を専門としない人であっても比較的簡単に *Planolites isp.*を認識することが可能である。また、差別浸食によって三次元的な構造が観察しやすいことも、魅力の一つである(図4)。

室戸半島層群産の生痕化石については、一般向けの書籍や文芸誌等でも紹介されている（泉, 2017, 2018）。特に本研究で扱った *Planolites isp.* は、集英社インターナショナル発行の季刊誌『kotoba』の 2018 年冬号の連載記事中で、実際の写真を交えて掲載されている（泉, 2018）。今後は、一般向けの媒体（書籍等）で室戸半島層群産の生痕化石をさらにアピールしていくことによって、社会における室戸の生痕化石の認知度が高まるであろう。

第二に、砂質堆積物及び泥質堆積物の圧密に関するデータは、教育にも活用できると考える。小学校理科や中学校理科第 2 分野において、地層という概念や、れき・砂・泥（れき岩・砂岩・泥岩）について学習する。例えば小学校理科においては、大地を構成しているものの具体例として砂や泥等を取り扱う。このように、砂や泥というのは日常生活のみならず、小・中学校の理科でも学習するため、非常に身近なものである。一方で、砂や泥がどのような過程を経て地層を構成する砂岩や泥岩へと変化するのか、という部分については、小・中学校では一切学習しない。本研究で対象とした圧密という現象は、未固結堆積物（砂や泥）が固結した岩石（砂岩や泥岩）へと変化する際の現象を指しているため、小・中学校で学習した既習事項をベースに、一步踏み込んだ専門的な学習の材料となり得る。

本研究では、*Planolites isp.* の計測データを基に圧密に伴う地層の層厚の減少率を定量的に推定した。*Planolites isp.* の計測の際には、専門的な器具を一切必要としない。本研究にはデジタルノギスを用いたが、もちろんノギスがデジタルである必要はない。高精度・高機能のものでない限り、ノギスは文具店やオンラインショッピングサイト等で、比較的安価で入手可能である。したがって、例えば中学校あるいは高等学校での課外学習の一環として、本研究と同様のプロセスを実際に生徒たちが実施することにより、圧密に伴う層厚の減少率を定量的に算出することも可能である。

謝辞

本研究の実施に当たり、平成 30 年度室戸ユネスコ世界ジオパーク学術研究助成事業による研究費の助成を賜った。ここに厚く御礼申し上げる。

また、野外調査に当たっては、高橋 唯博士（室戸世界ジオパークセンター）、乾 睦子教授（国土舘大学理工学部）、山田 祥太氏（千葉大学教育学部）にご協力いただいた。これらの方々にも併せて御礼申し上げます。



図 4. 地層の差別浸食（砂岩層に比べて泥岩層が選択的に風化・浸食される現象）によって、*Planolites isp.* の三次元的な構造を観察することができる。感覚的には、*Planolites isp.* が地層中に浮き立っているような感じである。

引用文献

- Izumi, K., Suzuki, R., Inui, M., 2017. Estimating the degree of mudstone compactional thinning: Empirical relationship between mudstone compaction and geochemical composition. Transactions of the Kokushikan University Science and Engineering, Tokyo, Japan, 10, 29-37.
- 泉 賢太郎, 2017. 生痕化石からわかる古生物のリアルな生きざま. 160p. ベレ出版.
- 泉 賢太郎, 2018. 生痕化石を探せ! 地層ブラブラ (最終回) 生痕化石から地球の未来が見えてくる. kotoba, 34, 190-195.
- Kochman, A., Matyszkiewicz, J., 2013. Experimental method for estimation of compaction in the Oxfordian bedded limestones of the southern Kraków-Częstochowa Upland, southern Poland. Acta Geologica Polonica, **63**, 681-696.
- Lobza, V., Schieber, J., 1999. Biogenic sedimentary structures produced by worms in soupy, soft muds: Observations from the Chattanooga Shale (Upper Devonian) and experiments. Journal of Sedimentary Research, **69**, 1041-1049.
- Mondol, N.H., Bjørlykke, K., Jahren, J., Høeg, K., 2007. Experimental mechanical compaction of clay mineral aggregates – Changes in physical properties of mudstones during burial. Marine and Petroleum Geology, **24**, 289-311.
- Nara, M., Ikari, Y., 2011. “Deep-sea bivalvian highways”: An ethological interpretation of branched *Protovirgularia* of the Paleogene Muroto-Hanto Group, southwestern Japan. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 305, 250-255.