

化石の精子から南極のゴミ化石探査まで —植物化石のエキサイティングな世界—

西田治文*

From fossil spermatozoid to the search of permineralized plant debris in Antarctica :
An exciting world of plant fossils

NISHIDA, Harufumi*

要旨

この講演録は、2011年6月4日に化石研究会第29回学術大会での特別講演会「植物化石研究と植物系統学の進展」における講演の内容に加筆したものである。ふつう目にする植物化石といえば、木の葉の化石や珪化木だが、他にもいろいろな保存状態があり、その違いに応じた情報が隠されている。ここでは特に、珪化木のように内部構造が立体的に保存された鉱化化石とよばれる化石が包含する様々な情報と、それがどのように取り出されて研究に供されるのかを紹介しながら、現在の植物化石研究の動向と、植物系統進化研究における役割について触れる。

鉱化化石の性質と成因をわかりやすく説明するために、漬けもの化石と呼ぶことにしている。2億5千万年前の遊泳精子さえみつかることがある良質の保存状態は、植物細胞がセルロースやリグニンで補強されているために、動物よりもはるかに形態保存されやすい特性をもつゆえである。立体的に保存されている鉱化化石は、高解像度X線CTスキャナなどの利用にも適している。CTの観察像を基に新種が記載される可能性も出てきた。姿形が立派で見栄えのする化石が研究対象になりやすいのは当然のことだが、最近、たとえば浅海性堆積物に混在する陸源植物破片をゴミ化石と呼んで研究を進めている。特に、南米南部と南極で進めているゴミ化石探査についても紹介する。

キーワード： 形態、鉱化化石、ゴミ化石、植物化石、進化

1. はじめに

化石はかつて生きていたのだということを、現代人なら誰でも十分承知はしているはずだが、いざ研究対象としてみると、単に生きた姿を想像するというような夢のあることのみではなくて、科学という枠の中で四苦八苦することになる。それでも学者は、化石の中に埋もれている夢の大きさを求めて、何とか化石生物を生かして科学と社会に貢献しようとするのである。

化石の持つ直感的な魅力は、脊椎動物に勝るものはないと信じている。しかも大きいほどすばらしいと感ずるのは、子供たちの反応が如実に示している。筆者

もそうであったし、いまでもその通りである。それでも、植物化石を研究することになったのは、たまたま生きているシダ植物から研究の真似事を始めたためと、研究者人口の少ない植物化石に行き先を定めることにしたからである。行き先を定めるころには、動物化石とは異なる植物化石独特の研究手法と先人の成果、生態系という視点から地球史を見たときの植物の存在の重要さに惹かれ始めたということでもある。

植物に限らず、化石研究の意義については、本誌においてことさら触れるべくも無いだろう。今回の特別講演会のテーマは、「植物の系統」であるが、この分

2011年9月9日受付, 2012年1月5日受理

* 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-17 中央大学理工学部生命学科植物系統進化学研究室

Laboratory of Plant Phylogeny and Evolution, Department of Biological Sciences, Faculty of Science and Engineering, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo, Tokyo 112-8551, Japan

E-mail: helecho@bio.chuo-u.ac.jp

野における化石の役割もまた然りである。ただ、30年前とすっかり異なるのは、現生生物の分子レベルの研究とコンピュータの利用が飛躍的に進み、確度の高い現生種の系統樹に基づいて、形態と機能の進化が跡づけられ、比較形態学と発生学の基礎情報が客観的に評価できるようになったことである。このため、化石生物の形態評価がしやすくなり、生物学の究極目標のひとつである全地球史の一側面として全生物系統樹作成を目指す際に、現生生物研究と化石生物研究との間で行われてきた相互検証が、より客観的になった。すなわち、化石研究の必要性が、科学的にもはっきり担保されるようになったのである。

このような背景に、さらに加わったのは、生物多様性と地球環境の変遷史を解明しようという強い興味と要求が社会にも高まったことである。人類が地球とその生態系に加え続けてきた様々な改変が、20世紀後半から急速に問題化したことから、これからは地球と生物及び人類の歴史を万人が理解した上で、未来を構築しなければならないという強い必要性が生じた（西田，2010）。深海の熱水噴出孔周辺の生態系などの特殊な例を除き、地球の生物生産は植物をはじめとする光合成生物が支えてきた。特に、陸上生態系は、植物にほとんど依存している。植物の歴史を明らかにすることは、環境教育の素材提供という意味でも必要なことだと考えており、その過程で植物化石が包含する情報の多様さと面白さを伝えることができれば一挙兩得である（西田，2008，2009，2010）。本講演録を通して、専門家にかぎらず、広く一般の方にも植物化石の面白さを知っていただければ幸いである。

2. 鉱化石

1) 漬けもの化石

鉱化石を含めた植物化石のいろいろな保存形式と、得られる情報の違いや研究方法については、化石研究会（2000）や専門家向けだが Taylor *et al.*（2009）などを参照されたい。また、植物の進化過程と系統の解明において化石が果たす役割については、西田（2004a）がある。本稿では主として筆者が研究に携わった鉱化石に限って、化石が伝えてくれる様々な事実を紹介させていただく。内容の一部や関連する化石は、すでに異なる形で紹介されている（西田，2000，2004b，2007b）。

鉱化石という呼称は、その成因から説明しようとすると名前の通り硬くなってわかりにくいので、一般向けには漬けもの化石と呼ぶことにした（西田，2009）。様々な鉱物による浸潤と置換によって植物の組織が立体的に保存されているために、生きた植物を観察するようにその解剖学的特長を知ることができ

る。ときには、記載命名と並行して形態進化を論ずることも可能な場合がある。現生種には見られない形態が観察できることもしばしばあるからこそ、系統進化研究に化石が不可欠なのである。たとえば、陸上植物の初期の形態と構造は、デボン紀のライニーチャート植物化石群の研究抜きでは語ることができないし（Taylor *et al.*，2009），仮軸分枝する維管束系をもつシダ類（Filicales）の存在は、カナダ産白亜紀のメシダ科根茎化石の発見で明らかになった（西田，2004b；Karafit *et al.*，2006）。鉱化石研究の進展は、1956年に発表されたピール法（Joy *et al.*，1956）に負うところ大である（西田，2000）。

鉱化石も他の植物化石同様に、生物地理学や生態学にも貢献するし、もともと生物なのだから、遺伝子を取り出すなどという難題はともかく、生物学一般の発想で、その存在を科学に生かすことができる。

2) ピール法

ピール法は酸で浸蝕した岩石の表面に浮き出た植物の組織を、そのままアセテートセルロースフィルムに転写して剥がしとる方法なので、当初組織が損なわれることを懸念する研究者も多かったと聞いている。しかし、2億5千万年前の珪化泥炭の中に残されたペルム紀後期の絶滅裸子植物グロッソプテリスの若い胚珠内に、花粉管から泳ぎだしたばかりの精子を発見するに及んで、このような不安はほぼ払拭された（Nishida *et al.*，2003，2004，2007）。もちろん、旧来の薄片法は、かなりの厚さで化石組織と岩石を損なうことになるが、岩石基質を溶かし去ることはないの、目的に応じて方法を使い分ける必要はある。化石を生かすということを、研究する際に心がけているけれども、観察して石であることを忘れるような保存状態に出会うことができるのは、鉱化石の面白いところである。

3) 日本の鉱化石

日本では、北海道から九州まで、保存の良好な鉱化石が多産する。特に、蝦夷層群を中心とした前期白亜紀後期から後期白亜紀にかけての地層からは、多様なシダ植物と裸子植物に加えて、当時分布を急速に拡大していた被子植物も含む豊富な鉱化石植物群がみられることは、世界的にもよく知られている（西田，2005，他）。北海道からはさらに、下川町の中期中新世モサナル層から珪化泥炭に含まれた下川珪化植物群が発見され、研究が進んでいる（Matsumoto and Nishida，2003，他）。これらの鉱化石には、植物だけでなく、菌類やときには植物組織内に巣食う昆虫も保存されており、ライニーチャートがそうであるように、それぞれの時代の地域生態系として捉えることができる（Nishida and Hayashi，1996；Watanabe *et*

al., 1999). 植物以外の様々な生物との共生関係の研究は、まだ研究の途上である。木生シダの例を紹介しよう。

4) 化石木生シダの栄養戦略

日本の白亜系からは多くの木生シダ根茎が発見されている。特にヘゴ科は広くアジア大陸東縁に多くの属と種が知られている (Nishida, 1989)。白亜紀には、ヘゴ科以外に、独特の構造をもつ木生シダ、テンブスキア科が広く世界にみられた。当初は北半球のみから化石が見つかったが、現在ではアルゼンチンとオーストラリアからも知られ、南半球にも分布していたようである。化石は珪化した根茎であるが、ヘゴ科の直立樹幹は1本の太い根茎とそれを取り巻く不定根からなるが、テンブスキア科のそれは太さ数ミリから1 cm 内外の細い根茎が多数、不定根とともに絡まりあって直立する (図1)。擬幹と呼ばれるこのような特殊な直立構造は、現在のシダ類にはみられない。

テンブスキア科はほとんどが前期白亜紀にのみ知られていたが、日本からは岩手県に分布する上部白亜系 (サントニアン) の玉川層群からのみ見つかる (Nishida, 1986, 2001)。白亜紀のヘゴ科とテンブスキア科の不定根の組織を見ると、明瞭な違いがある。海外の種を含めて、調べた限りではテンブスキア科の根には皮層内層の細胞内にならず共生菌が見つかるのに、ヘゴ科の皮層には見られないのである (図1)。この共生菌はサンゴの枝のように細かく分枝する菌糸が特徴で、現在でも多くの植物の根にみられるVA菌根菌とよばれるものである。主にリン酸塩を植物に供給しているとされ、まだ根を持たないデボン紀のライニーチャートの植物の地下部にもすでに共生が確認されている。

このような共生菌の有無を説明する仮説として、次のようなものを考えている。ヘゴ科の直立茎は1本で太く、植物が成長を続ける限り地上にまで達する不定根が常に作られる (図1)。すなわち、ヘゴ科の根茎は栄養分を土壌から直接吸収できる。一方、テンブスキアの根茎は細く、擬幹が上に向かって成長するにつれて、内部の根茎は死んでゆく。この結果、生きた植物体は擬幹の先端近くに孤立することになり、土壌からの栄養吸収がおぼつかなくなるはずである。これを共生菌が補っている可能性がある。

この仮説には難点がある。現生のヘゴ科植物のいくつかではVA菌の存在が報告されているからである。白亜紀のヘゴ科植物と現在のそれらとでは、生態的な条件が異なっているが、まずは現生種内でのVA菌共生の系統分布を広く調べる必要がある。

5) 高解像度 X 線 CT スキャナ

鉱化石を岩石カッターの餌食にする前に、内部を

透視できないかということは、研究を始めた当初から考えていた。1993年には、東海村の原子力研究所で中性子を使って北海道産白亜紀の果実状化石の観察を行ったが、トモグラフィー技術が追いつかず、報告に値するほどの成果はなかった。1998年に、初めて白色 X 線を用いた高解像度 X 線 CT スキャナで同様の化石を観察し、将来の利用について確信が持った。これがきっかけとなり、企業の協力を得て様々な資料を試しながら (西田, 2001)、2006年には研究室に世界の古植物学研究室に先駆けて、機械を導入した。その後、原理的には同じであるシンクロトロン放射 X 線を用いた炭質のメソフォッシル (化石研究会, 2000 など参照) 観察も進んだ。

鉱化石の CT による観察は、岩石の質と保存状態により結果が左右される。一般に珪化石はあまり詳細な画像は期待できない。石灰質の場合は、かなり有用である。2006年に、久慈琥珀博物館の佐々木和久さんが国立科学博物館の植村和彦博士に鑑定を相談した化石があった。高さと直径が1 cm に満たない、むき出しの錐状構造で、一部が割れており、唯一の標本であることから、薄片作成ははばかられた (図2a, b)。そこで、植村博士からの依頼を受けてスキャナで観察したところ、中央基部に空洞があり、そこから空隙は先端に向けて細くなって、最後は円錐頂末端に小さく開口することがわかった (図2c-e)。さらに、空洞を囲む外層には、3層あり、最内層が空洞と先端に延びる管を覆っていた (図2d)。

観察から、明らかに植物の種子または胚珠であることがはっきりした。先端の開口部は受粉の際に花粉が侵入する珠孔であると考えられ、そうであれば、裸子植物である。このような構造の種子を持つ裸子植物は、現生種も化石種も含めて、グネツム類しか知られていない。そこで、この化石をグネツム類の種子 (胚珠) として予察的に報告した (Nishida, 2007)。CT 画像は電子的な画像であるけれども、それは電子顕微鏡の画像と情報の質は同じである。顕微鏡薄片をさらに作製して、組織観察を行うことができればよいが、それが望めない場合でも、スキャナによる画像を元にして、この化石を記載することになるだろう。内部構造が明らかなグネツム類の種子化石としては最古のものとなる。

3. ゴミ化石

1) なぜゴミ化石か

ゴミ化石というのは筆者の造語で、化石になった植物には申し訳のない呼称だが、産状と性質をみれば、納得もゆくだろう (西田, 2007a; 図3f)。北海道蝦夷層群のような浅海性堆積物に形成された石灰質団塊

には雑多な陸源の植物が含まれていることがある（図3a）。植物はその大きさと重さに応じて水中で重力選別されて堆積するので、樹幹や球果のような大型で見栄えのするものから、数ミリ単位の雑小片が集積していることもある。後者はあまり興味がもたれない傾向

があるが、筆者は蝦夷層群植物群の研究を始めたころから、それを意識して採集してきた。

2003年になって、後述するチリ南部パタゴニアのリエスコ島で植物化石探査をした際に、同行した金沢大学（現）の山田敏弘博士が、同様の石灰質団塊を発見

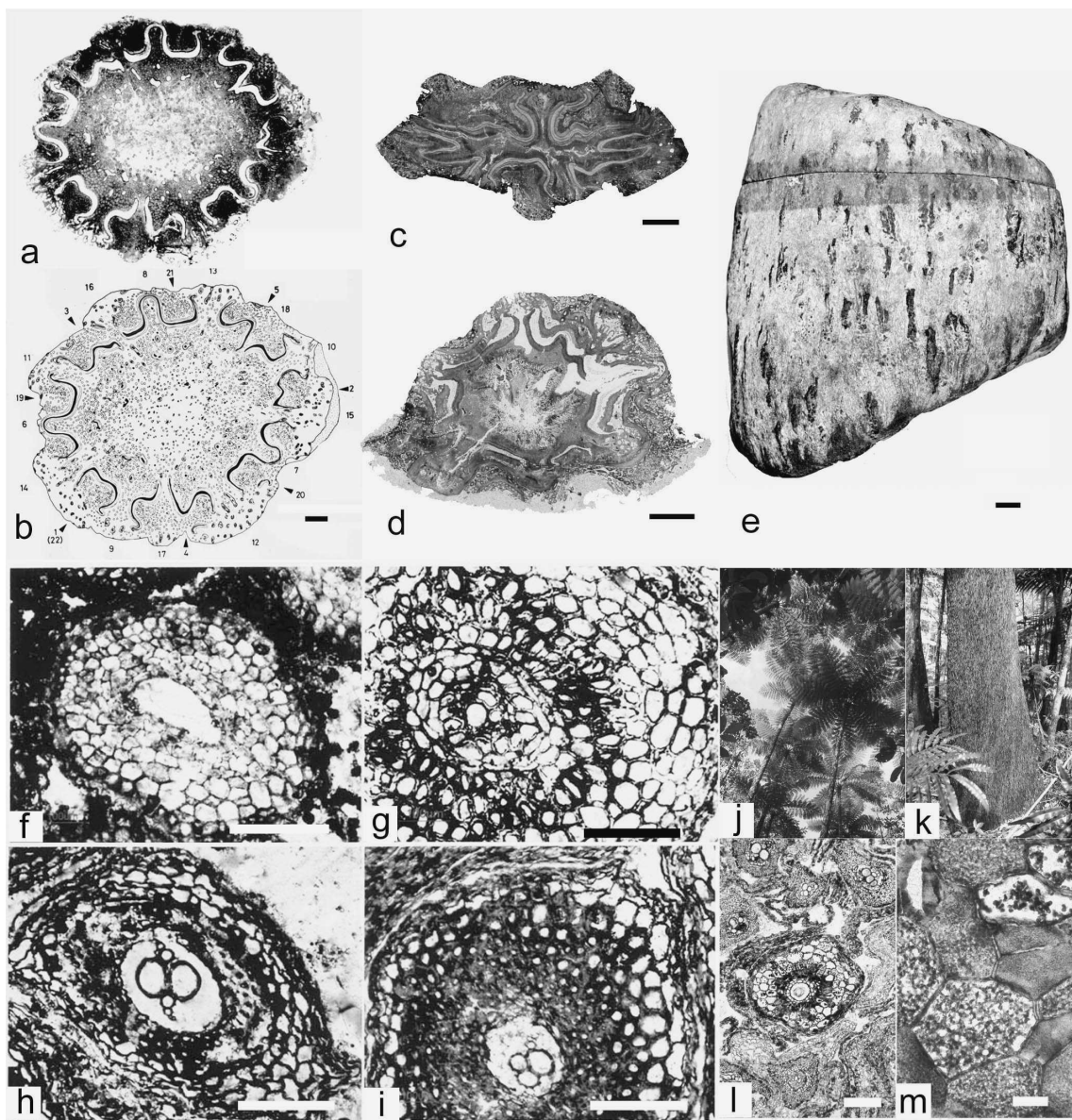


図1 化石ヘゴ科(a-d, f-k)とテンブスキア科(e, lとm)の直立根茎と共生菌の有無。(a), 北海道産後期白亜紀の *Cyathocaulis yezopteroides* H. Nishida の根茎横断面。1本の茎からなる。(b), (a)のスケッチ。(c), 岩手県相馬産後期白亜紀の未記載ヘゴ科タカワラビ類根茎。(d), 北海道産後期白亜紀の未記載のタカワラビ類根茎。(e), 岩手県種市産後期白亜紀の *Tempskya uemurae* H.Nishida の擬幹外観。(f-i, lとm), 不定根の横断面。(f), タスマニア産後期ジュラ紀～前期白亜紀の *Oguracaulis banksii* Tidwell et H. Nishida. (g), 群馬県産前期白亜紀の *Cyathocaulis naktongensis* Ogura. (h), 北海道産後期白亜紀の *Paracyathocaulis ogurae* (Hashimoto) H. Nishida. (i), (c)の不定根。(j)と(k), ニューカレドニアの現生ヘゴ科 *Sphaeropteris* 属の直立根茎と基部を覆う新鮮な不定根。(l)と(m), (e)の不定根。皮層内層に樹枝上に分岐するVA菌の菌糸が発達。Bar=1mm(a)-(e), 0.1mm(f)-(i), (l), 10 μ m(m)。

し、帰国後ピール標本を作製すると、材や葉、種子などの小片だけでなく、シダ植物の胞子囊やコケ植物から着生シダ類、菌類など普通は化石としての発見があまり期待できないものまで含むことがわかった（図3；Nishida *et al.*, 2006）。この結果、白亜紀末期から暁新世にかけて、パタゴニアに広がっていた暖温帯性混交林の様相が、生き生きと再現できるようになってきた。そこで、このような雑多な小片の化石群をわざわざゴミ化石と命名して、注目度を高めることにしたのである。したがって、ゴミ化石と命名はしたものの、それはこれまで知られてきた石灰質団塊や、コールボール、陸生の珪化泥炭中の雑多な植物片をさすもので、とりたてて目新しいというものでもない。しかし、意識して採集することで、過去の生態系を新たな視点から復元できるはずである。

2) 新たなゴミ化石

日本国内では、白亜紀の石灰質団塊を産出する地層が広く見られる。含まれる植物の量や、保存の度合いによって、研究資料になるものもまだ潜在的には多いと思われる。千葉県銚子の下部白亜系君ヶ浜層群からは、すでに材やシダ植物の報告があるが、ゴミが豊富というほどでもない（西田, 2005）。近年、被子植物がいつ日本に侵入したかを明らかにするために、下部白亜系の花粉化石層序の作成と古環境解析を目的とした共同研究を始め、銚子や和歌山県の有田などでも資料収集をしている。その過程で、石灰質団塊の採集も試みており、有田層群では記載可能な保存状態の植物片も見つかっている（Yamada *et al.*, 2009；Legrand *et al.*, 2011）。図4には未記載のゴミの一部を紹介してあるが、その中には、被子植物のような階段状の穿

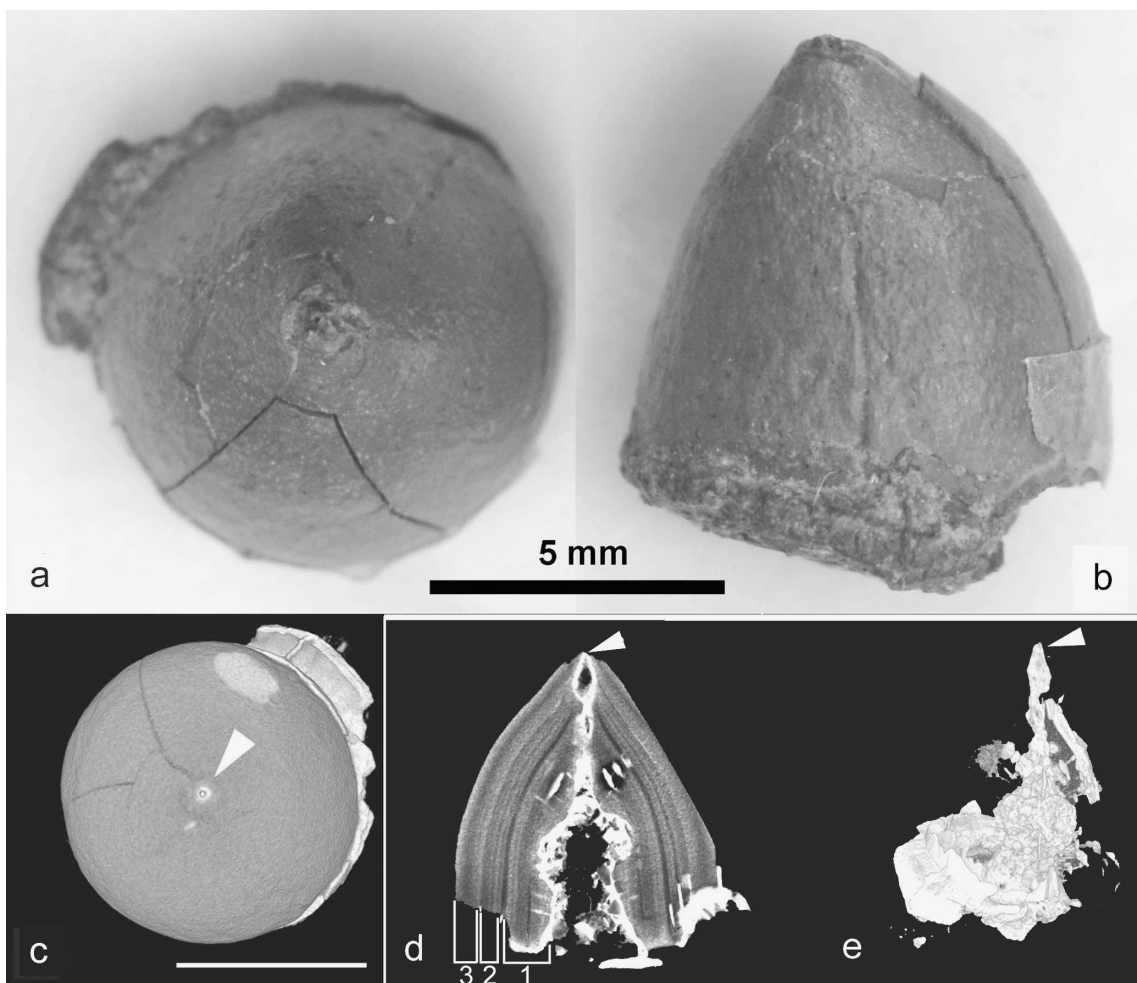


図2 久慈産後期白亜紀のグネツム類種子。(a)と(b)、外観。一部外皮が割れている。(c)、先端部から見たCT画像。矢印は珠孔。(d)、CT画像の正中縦断面。珠孔が細長く伸びて珠心に相当する空隙につながる。番号は珠皮(1)と外層の2枚の被覆(2, 3)。(e)、珠孔から珠心に至る空隙を取り出した画像。Bar=5 mm (c)-(e)。

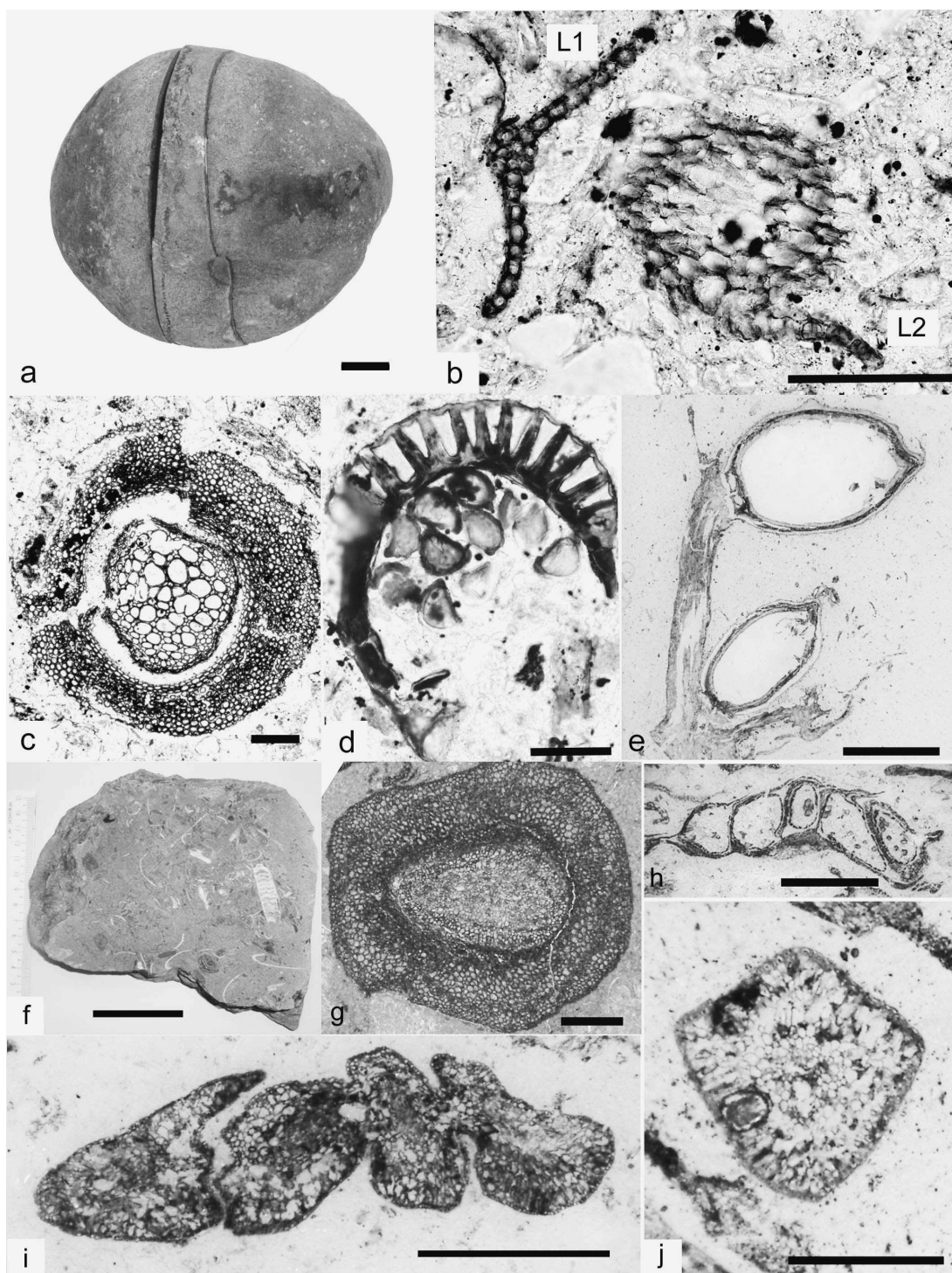


図3 チリ産のゴミ化石。(a), 切断した石灰質団塊の例。チリ南部, マゼラン州リエスコ島産, 始新統チョリヨ・チコ層群。(b)~(e)も同産。(b), 蘚類の茎と2枚の葉 (L1とL2)の横断面。(c), コケシノブ科の根茎横断面。(d), ヘゴ科ロフォソリア属 *Lophosoria* の孢子嚢と孢子。(e), シダ種子とみられる胚珠をつけた生殖茎。(f), 石灰質団塊の切断面。チリ中南部コンセプション州コ Chol 産。上部白亜系 (カンパニアン), キリキナ層群。(g)~(j)も。(g), シダ類コバノイシカグマ科の根茎横断面。(h), ヒカゲノカズラ類の孢子嚢縦断面。(i), ヒノキ科シュートの斜め縦断面。(j), ヒノキ科あるいはマキ科の葉の横断面。Bar=1 cm (a), 0.1mm (b), (d), 0.5mm (c), (j), 2 mm (e), 5 cm (f), 1 mm (g)-(i)。

孔板をもつ道管の破片 (図4 c-e) も見つかり、もし被子植物のものであれば、最古の被子植物化石である。

海外でも、同様の浅海性堆積物は広く見られる。たとえば、北米のバンクーバー島周辺からは後期ジュラ紀から後期白亜紀までの地層から良質の団塊が見つかり、研究が進んでいる (Karafit *et al.*, 2006, 他)。

チリ・パタゴニアの石灰質団塊植物群は、南米では初めて発見されたもので、同様の化石群をチリ中南部でも探索し、コンセプション北方のコ Cholge など、後期白亜紀のキリキナ層群とその上部の前期新生代ナビタッド層群から良質の資料を発見し、予察を始めた (図3)。本来、パタゴニアの化石調査は、現在のチリ南部の植生の成立史を、ゴンドワナ大陸時代にさかのぼって明らかにすることが目的であったから、南米と新生代初期まで生物の往還が可能なほどに近接していた南極大陸において、ゴミ化石探査を試みるこ

とは、自然の成り行きであった。実際、現在の南極半島とその周辺諸島からは、中生代ジュラ紀以降の動植物化石が頻繁に報告されている。ただ、ゴミ化石探査は誰も試みたことがなかった。

3) 南極ゴミ化石探査

南極半島には日本の基地がないので、基地と研究施設をもつチリの南極研究所 (INACH) に協力依頼を続けていた。2011年によく認められ INACH が組織する研究チームに加えてもらった。2011年1月7日から2月5日まで、南極域にある南シェトランド諸島のキングジョージ島とリビングストン島で調査を行った (図5)。前期白亜紀アルビアン世から新生代始新世までの化石産地6箇所を選び、砕氷船からヘリ、ゴムボート、サンドバギーまで駆使しての採集調査であった。ゴミ化石を含む石灰質団塊が期待できたのは、リビングストン島の2地点だけであったが、最も期待されたところには3日続きの悪天候に阻まれて到達できなかった (図5 d)。しかし、1地点において

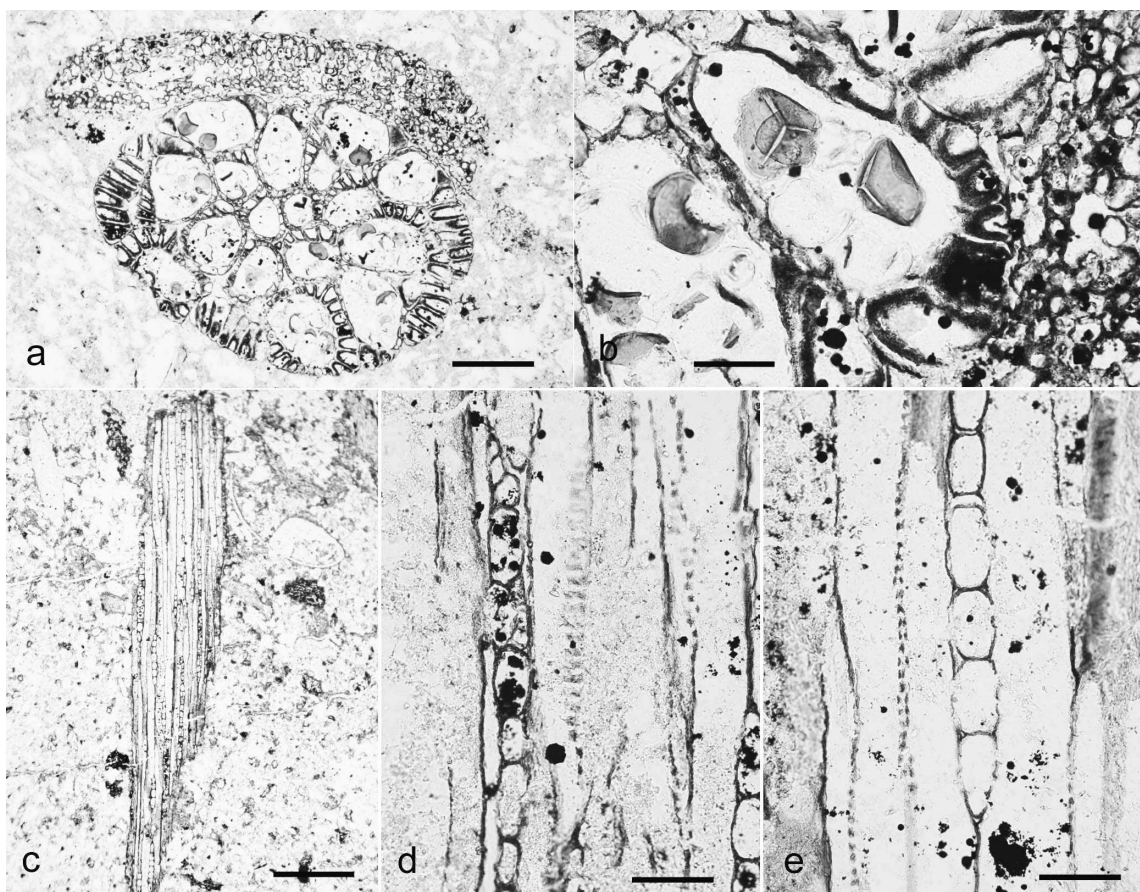


図4 和歌山県有田層群産の前期白亜紀ゴミ化石。(a), 薄囊シダ孢子囊群。ヘゴ科か。(b), (a)の拡大。(c), 道管をもつ材片。被子植物の可能性はあるが、検討中。(d)・(e), (c)の拡大。階段紋をもつ穿孔板と階紋状の側壁。Bar=0.5mm (a), (c), 50 μ m (b), (d), (e)。

は樹幹を含む団塊 1 点をようやく採集できたので、将来は必ずゴミ化石発見につながるであろう (図 5 f)。ただ、この手でそれを行うことができるかどうかは、今後もチリをはじめとする同地域に基地を持つ各国の協力が得られるかどうかにかかっている。

4. 植物化石研究のこれから

現地調査と実物資料の採集は、年々難しくなっている。主因は二つで、一つは産出国の規制と許可取得の困難さが増したこと、いま一つは、このようなフィー

ルド研究者数と職の減少である。前者は、化石の商業的価値が一部で強調された余波でもあり、植物化石でもそのような極端な例もみられるのは残念である。学問の国際化が叫ばれるのに、実際は狭量な国粋主義に陥って科学的には全く負の効果しかもたらさないような規制がゴミ化石にまでかかるようになることは防ぎたいものである。

研究者人口の減少はもっと深刻である。自然史系科学が廃れるのは、国家衰微の兆しだと筆者は考えている。生物の分類や多様性、系統を明らかにすること

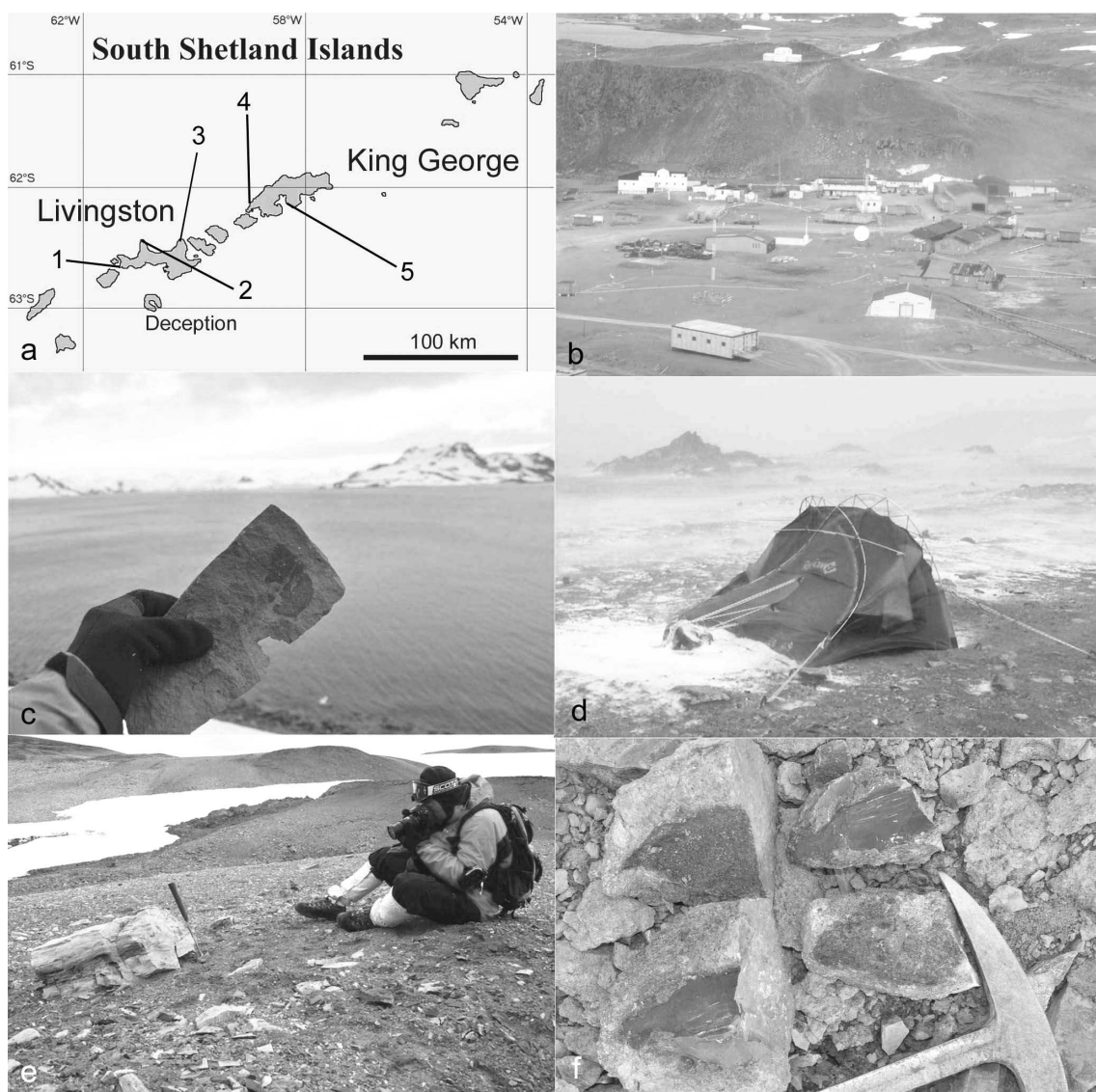


図5 南極の植物ゴミ化石探索。(a)、南シェトランド諸島キングジョージ島及びリビングストン島の調査地 (1, Byers Bay; 2, Hannah Point; 3, Williams Point; 4, Fildes Peninsula; 5, Mt. Wawel)。(b)、チリ海空軍フィルデス基地。INACHの研究施設が夏季のみ稼動。(c)、始新統 Mt. Wawel 層のナンキョクブナ葉 (調査地 5)。(d)、悪天候で3日間停滞 (調査地 1)。(e)、前期白亜紀の樹幹。おそらくナンヨウスギ (調査地 1)。(f)、前期白亜紀の炭酸質団塊中の材化石 (調査地 1)。

は、生命現象の解明と並んで、生物学の2大目標である。前者は人の命にも直結するから有益で、後者は道楽じみているから不要であるという論理は、貧すれば鈍するという文明国衰退の予兆だととらえている。化石研究を育て続けることが、次世代の科学を導く好奇心の発露になるということを、あえてこのような文章に加えなければならないのは、残念なことである。

謝辞

不覚にも化石を研究しながら、本研究会会員でなかった筆者に、このような機会を与えていただいた、化石研究会と、講演会から本報告にいたるまでの各種の労をお取りいただいた、山川千代美博士および松本みどり博士とにまず、感謝申し上げる。これまでのチリ調査にあたっては、文科省科学研究費 nos. 14255007, 18405013, 21405012の補助を受けた。また、南極調査は、チリ南極研究所 INACH (Instituto Antartico Chileno) の協力なしではなしえなかった。同研究所および、共同研究者の Marcelo Leppe チリ南極研究所研究部門長、コンセプション大学学生の Pricila Riveros Oliva 氏と Karen Diaz Mancilla 氏とには特に御礼を申し上げる。チリ国内での化石採集調査許可と標本の輸出許可については、チリ教育省国家遺産局 (Concejo de los Monumentos Nacionales) にお世話になった。担当各位のご協力にも感謝申し上げます。

引用文献

- Joy, K. W., Willis, A. J. and Lacey, W. S. (1956) A rapid cellulose peel technique in palaeobotany. *Ann. Bot.* **20**, 635-637.
- Karafit, S. J., Rothwell, G. W., Stockey, R. A. and Nishida, H. (2006) Evidence of sympodial vascular architecture in a filicalean fern rhizome: *Dickwhitea allenbyensis* gen. et sp. nov. (Athyraceae). *Int. J. Pl. Sci.* **167**, 721-727.
- 化石研究会編 (2000) 化石の研究法, 共立出版, 東京, 388頁.
- Legrand, J., Pons, D., Nishida, H. and Yamada, T. (2011) Barremian palynofloras from the Ashikajima and Kimigahama Formations (Choshi Group, Outer Zone of south-west Japan). *Geodiversitas* **33**, 87-135.
- Matsumoto, M. and Nishida, H. (2003) *Osmunda shimokawaensis* sp. nov., and *Osmunda cinnamomea* L. based on permineralized rhizomes from the Middle Miocene of Shimokawa, Hokkaido, Japan. *Paleont. Res.* **7**, 153-165.
- Nishida, H. (1986) On a new *Tempskya* stem from Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan.*, N.S. **143**, 435-446.
- Nishida, H. (1989) Structure and affinities of the petrified plants from the Cretaceous of northern Japan and Saghalien V. Tree fern stems from Hokkaido. *Paracathocaulis oquae* gen. et comb. nov., and *Cyathocaulis yezoapteroides* sp. nov. *Bot. Mag., Tokyo* **102**, 255-282.
- 西田治文 (2000) II-2-3-2 鉱化化石. 化石研究会 化石の研究法, 109-112頁, 共立出版, 東京.
- Nishida, H. (2001) A leptosporangiate fern *Tempskya uemurae*, sp. nov. (Tempskyaceae) from the Cretaceous (Santonian) of Iwate Pref., Japan. *Acta Phytotax. Geobot.* **52**, 41-48.
- 西田治文 (2001) 化石植物研究最前線. 学術月報 **54**, 1142-1144.
- 西田治文 (2004a) 植物化石が語る進化. 佐藤ほか編 マクロ進化と全生物の系統分類. シリーズ進化学 I, 133-162頁, 岩波書店, 東京.
- 西田治文 (2004b) 鉱化植物化石の植物形態学への貢献. *Plant Morphology* **16**, 93-102.
- 西田治文 (2005) 鉱化化石から探る日本の白亜紀植物の世界. 化石 **78**, 5-20.
- 西田治文 (2007a) 植物ゴミ化石の魅力と有用性. *Bunrui* **7**, 5-22.
- 西田治文 (2007b) 鉱化植物化石から植物の進化を探る. 顕微鏡 **42**, 118-121.
- Nishida, H. (2007) Microscopic X-ray tomography for the study of permineralized plant fossils. *Proceedings of Int'l symposium on Paleontology and Stratigraphy in Benxi of China*, Jilin University, pp. 16-18.
- 西田治文 (2008) 地球史から考える生物多様性. 日本経団連自然保護協議会だより (KNCF News) **46**, 20-22.
- 西田治文 (2009) 植物の“漬けもの”化石から探る世界と自分—諸君は何を探していますか? *Biophilia* **5**, 66-69.
- 西田治文 (2010) 自然史・古生物学と生物多様性教育. 学術の動向 **15**, 109-113.
- Nishida, H. and Hayashi, N. (1996) Cretaceous coleopteran larva fed on a female fructification of extinct gymnosperm. *J. Pl. Res.* **109**, 327-330.
- Nishida, H., Pigg, K. B. and Rigby, J. F. (2003) Swimming sperm in an extinct Gondwanan plant. *Nature* **422**, 396-397.
- Nishida, H., Pigg, K. B., Kudo, K. and Rigby, J. (2004) Zooidogamy in the late Permian genus *Glossopteris*. *J. Pl. Res.* **117**, 323-328.

- Nishida, H., Pigg, K. B., Kudo, K. and Rigby, J. (2007) New evidence of reproductive organs of *Glossopteris* based on permineralized fossils from Queensland, Australia. I. Ovulate organ *Homevaleia* gen. nov. *J. Pl. Res.* **120**, 539-549.
- Nishida, H., Terada, K., Uemura, K., Yabe, A., Yamada, T., Kurita, H., Asakawa, T. and Hinojosa, L. F. (2010) On some Cenozoic Cupressoid (*s.l.*) remains from south of Chile. *The 3rd International Metasequoia Symposium, Abstract.* p. 60.
- Nishida, H., Uemura, K., Terada, K., Yamada, T., Rancusi, M. and Hinojosa, L.F. (2006) Preliminary report on permineralized plant remains possibly from the Paleocene Chorillo Chico Formation, Magallanes Region, Chile. In : Nishida H. (ed) *Post-Cretaceous Floristic Changes in Southern Patagonia, Chile*. Chuo University, Tokyo, pp. 11-27.
- Taylor, T. N., Taylor, E. L. and Krings, M. (2009) *Paleobotany, The Biology and Evolution of Fossil Plants*. Academic Press / Elsevier, New York, pp. 1230.
- Watanabe, K., Nishida, H. and Kobayashi, T. (1999) Cretaceous Deuteromycetes on a Cycadeoidalean bisexual cone. *Int. J. Pl. Sci.* **160**, 435-443.
- Yamada, T., Legrand, J. and Nishida, H. (2009) Structurally preserved *Nilssoniopteris* from the Arida Formation (Barremian, Lower Cretaceous) of southwest Japan. *Rev. Palaeobot. Palynol.* **156**, 410-417.