

ライエルの北米旅行とその研究報告の紹介 — 特に生痕化石について

渡部哲光*

On Charles Lyell's travels in North America,
with special reference to his reports of trace fossils

WATABE, Norimitsu*

Abstract

Charles Lyell visited North America 4 times between 1841 and 1853. During those trips, he made geological observations and collected a variety of fossils with the collaboration of Canadian and American researchers. He was also interested in trace fossils, and made special visits to the sites where those fossils had been discovered. His travels resulted in 2 books and a number of lectures and research papers. In this review, four topics, i.e., fossil footprints of birds, fossil footprints of reptiles, 'fossil' rain-marks, and the lecture on the Canadian lower Silurian fossil footprints have been selected and Lyell's thoughts on those fossils are introduced.

Key words: Lyell's North American travels; fossil bird footprints, fossil reptile footprints, 'fossil' rain-marks, Silurian fossil footprints.

チャールス・ライエル—Sir Charles Lyell (1797—1875)—は1841年から1853年の間に4回にわたって北米を訪れている。

第1回目は1841年、ボストンのLowell Instituteの招待で訪問し、8月始めに講演を行った。これは大成功で聴衆は4500名に上り、会場が狭くて同じ講演を2回行ったという (Skinner, 1978)。そのほかニューヨーク、フィラデルフィアでも講演し、その後カナダのケベック、トロント、ノヴァスコシアを始め、米国の南北カロライナ州まで地質研究旅行に出かけ、42年の夏に帰国した。第2回目 (1845年) にはLowell Instituteで再び講演を行い、ジョージア、アラバマ、ルイジアナ各州を訪れ、さらに北上してメンフィスを経て、ペンシルヴァニアの炭田からフィラデルフィアまで旅をした。第3回目の旅行 (1852年) では3回目の講演。そして第4回目 (1853年) はニューヨーク工業博覧会の委員として、またイギリス政府の親善使節として訪れ、数カ月間旅行をしている。彼はその都

度、各地の地質・化石などの研究・採集を行い、詳細なノートを作り、後に英米の学会・学会誌に数々の報告をした。「Travels in North America, Vol. I, II」 (Lyell, 1845), 「A Second Visit to the United States of North America, Vol. I, II」 (Lyell, 1849) はその旅行記であるが、地質・化石関係の記述も多い。注: 本稿では第2回目の旅行記は改訂版のLyell, 1850を使用した。

論文・講演の中、ニューヨークでの講演集、'Eight Lectures on Geology, 1842, 1843' は余り知られていない。これと併せて、1841年から69年に発表されたアメリカ関係の論文45篇を Tulane 大学の Hubert C. Skinner 教授が編集したものが、「Charles Lyell On North American Geology」として1978年に発行されている (Skinner, 1978)。

ライエルはナイアガラ瀑布の滝口の侵食度や、ミシシッピ河のデルタ沖積進行度の測定、各地の石炭層の調査などと共に、新旧大陸の地質及び化石の比較を行

2005年1月24日受付, 2005年6月1日受理

* 米国南カロライナ大学生物科学教室

Department of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia SC 29208, USA.

い、旅行記にもそれらが割に詳しく記載されている。また、カナダのドーソン (Sir John Dawson) と共同で米大陸最古の陸産巻き貝、*Pupa vetusta* (有肺類) 発見の報告もあるが、本稿では、旅行記及び論文集に記された生痕化石、すなわち足跡化石と、雨痕‘化石’についての報告を紹介する。

1. ‘鳥類’の足跡化石

1842年4月15日にアマースト・カレッジのヒッチコック (E. Hitchcock) 教授とともにマサチューセッツ州コネチカット河岸、Smith Ferryの赤色砂岩地帯に出かけた。教授が1836年に発表した (Hitchcock, 1836) オルニシクニテス (*Ornithichnites*) - 鳥類足跡化石 - (図1) の調査のためである。ここでライエルは砂岩に残されたさまざまな足跡化石を観察した。その歩幅は色々で、*Ornithichnites gigas* (注：これは図1には示されていない) と命名された6フィート (約183 cm) のものから短いものは3インチ (約7.6 cm)、足長は最大19インチ (約48 cm)、最小3インチ位のものまであった。赤色頁岩の岩棚には、9個の *Ornithichnites giganteus* の足跡雄型 (cast) が観察された。当時、多くの自然科学者はこの足跡化石が絶滅した鳥類の足跡であるというヒッチコックの主張を否定していたが、オーエン (Sir Richard Owen, 1804 - 1892) がニュージーランドのモア (*Dinoris*) の骨について報告し、巨大な鳥の存在が証明されてから、その主張に賛成するようになった。

ライエルもこれが鳥類の足跡であることは実物に接

するまでは少々懐疑的であった。しかし、足跡を見た上、ヒッチコック教授が1836年に公表後、おそらく30以上の明瞭な種よりなる、2000個以上の足跡を調べ、これらはほとんどすべて、層の上面に刻まれていて、岩棚の下面では雄型を作っていたこと；足跡が一直線の時は、足跡の大きさは一様であって、お互いに等間隔に並んでいること；足跡の指は交互に反対方向を向いていることからこのような足跡は二足動物であって、三裂マークは鳥類の残すものに似ている；また、連続した3個の足跡は直線ではなく、指に関節の存在がうかがわれることは、マサチューセッツ海岸の砂で自ら観察した coots (オオバンの類) や他の鳥が残した足跡に似ていることなどを確認し、教授の考えを承認した。

年代については、コネチカット渓谷とニュージャージーの赤色砂岩は石炭紀と白亜紀との中間のものであるとされているが、それに異存はないと述べている [注：後に三畳紀-ジュラ紀初期と判明 (Pirsson and Schuchert, 1915参照)]。コネチカットの Durham 近郊の砂岩から、彼は *Palaeoniscus* と *Catopterus* 属の魚類を採集したが、その他には化石木以外には無かった。

ライエルはこの砂岩はヨーロッパで鳥類の骨などの化石の産出したどの層よりもはるかに古いのが、このことが、鳥類が西半球でこの時代に始めて出現したということにはならないと考えた。

彼はさらに、1842年7月16日にノヴァスコシアのファンデイ湾 (The Bay of Fundy) を訪れた。この

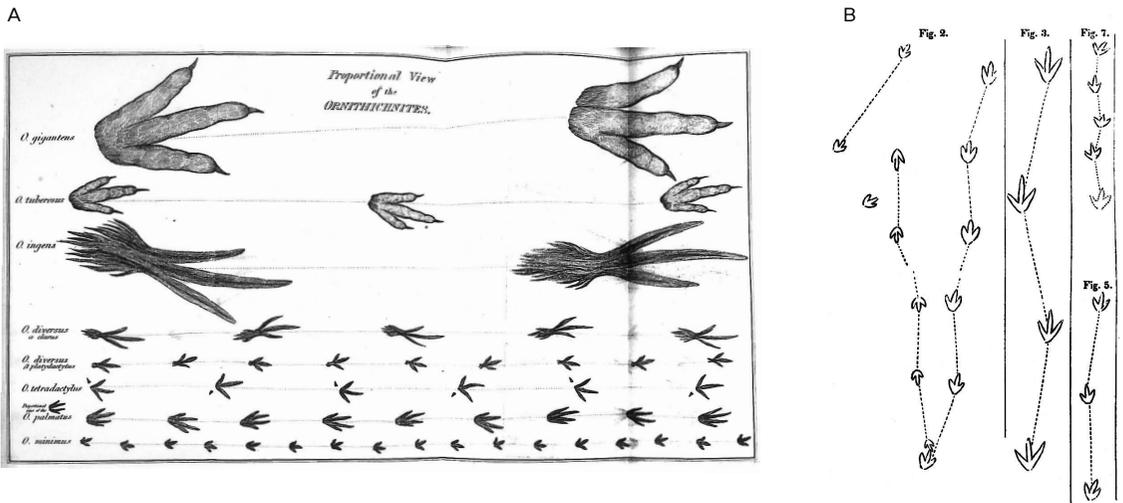


図1 A: ヒッチコックが報告した‘鳥類’足跡化石のスケッチ。足の大きさ、歩幅は比例的に描いてある。*O. giganteus* の足長は38cm。
B: 同じく、歩行跡スケッチの一部。Fig. 2, 5は *O. tuberosus* ; Fig. 3は *O. ingens* ; Fig. 7は *O. diversus*。Hitchcock (1836) より。

沿岸は石膏と海成石灰岩を含む石炭系が観察される。日にほぼ2回、潮汐現象があり、干満の差は、70フィート(約21m)で世界一といわれる。ちょうど干潮時で赤土が積っていた。その一部は太陽照射で焼かれ、ヨーロッパの新赤色砂岩に類似していた。

Wolfvilleの乾いた赤泥には泥に穿孔する環形動物(annelid)によって作られた這い跡が見られたが、もっと興味をひいたのは、小さな、順序正しく付けられた明瞭な鳥の足跡で、コネチカット溪谷の小さなオルニシクニテスにそっくりであったと述べている。ガイドのDr. Harding及びMr. Pryorによれば、これは*Tringa minuta*(ハマチドリの類)であった。また、これより二潮(ふたしお)前の干潮時にできたものもあり、指が一本遊離していたが、これは鳥が着陸するときに伸ばした指先が先に泥に触れるからこうなる。赤泥は割れていたため、その数片をイギリスに持ち帰り大英博物館に提供した。これは、オルニシクニテス化石の起源についてまだ懐疑的な自然科学者に、それと同館所有の有羽二足動物の立派な標本—この標本はイクチオサウルス、イグアノドン、プテロダクチルより以前の時代のものである—と比較してもらうためである(注:ライエルはこの標本について具体的に説明していない)。当時、既にヨーロッパでは恐竜の化石が発見されていたが、アメリカにはその情報がまだ伝わってなくて、ヒッチコックは彼の発見した足跡化石は鳥類の残したものと信じていた。しかし後にラル(R. S. Lull)によりその大部分は爬虫類に属することが明らかにされた(Sarjeant, 1975)。

一方ライエルは上述のように、その実物を観察して

ヒッチコックの考えに同意はしている。しかし「その巨大なものはオルニシクニテスに違いないが、そのあるものは鳥の足跡化石ではないということほとんど疑いない」とも言っている。

2. 爬虫類の足跡化石。

ライエルは第2回目の旅行で、ペンシルヴァニア州ピッツバーグからフィラデルフィアに行く途中、Greensburgに立ち寄り爬虫類の巨大足跡化石調査を行っている。この化石はその土地の医師、Dr. Kingが1844年に発表したものである。ヨーロッパ、アメリカではまだその真実性について疑いを持たれていて、イギリスの地質関係の友人の依頼もあり、それを確かめるためでもあった。同医師の案内で、ある農場を訪れ、小川の岸の緻密な頁岩に挟まれた細い粘土層に残された足跡化石、そしてその上に重なった砂岩の下面に刻まれた足跡の雄型を見た(図2)。この地方ではこれらの岩板を切り取って敷石に利用していた。ライエルは発見当時の状況聞き、標本のほとんどすべてを観察し、上下層は石炭を含み、*Lepidodendron*, *Sigillaria*, *Stigmaria*, *Calamites*などの石炭紀植物化石を含むことを確認した。足跡は23を下らず、同一動物が次々と残したものである。至る所に、二列の足跡があり、対となっていて、各対は後足と前足とよりなる。各対間の間隔はほとんど同じである。

ヨーロッパの三畳系、新赤色砂岩中に発見されたキロテリウム(*Cheirotherium*)化石(図3)では後足は前足の五倍くらい大きく、いずれも五本指がある。アメリカの化石では後足は前足の二倍もなく、前足は四

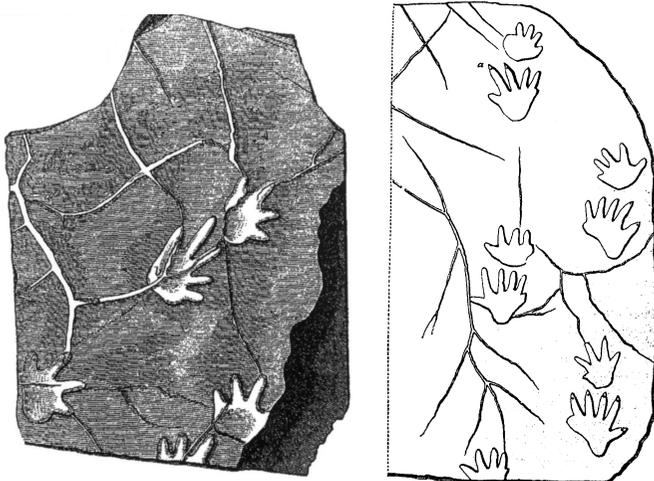


図2 ペンシルヴァニア州で発見され、ライエルが報告した、キロテリウム(爬虫類足跡化石)。(左)中央の足跡長は約18cm; (右)キロテリウムの雄型。aは爪のマークかも知れないと記されている。Lyell (1850)より。



図3 ドイツのSaxonyで発見されたキロテリウム。原図の縮尺不明。Lyell (1850)より。

本指、後足は五本指である。ヨーロッパの標本もアメリカの標本も、五本目の指は足とほぼ直角に出ていて、人間の親指にやや似ている。後足平均長は5.5インチ（約14cm）、前足は4.5インチ（約11.4cm）。前足・後足は対をなし、たがいに接近して後に続く。その間隔は1インチ（約2.5cm）しかない。各対の間隔は6-8インチ（約15.2-20.3cm）。足跡の平行線間隔は同じ。ヨーロッパのものは前後の足は対となっているが、体の正中線で足を地面に下ろすから一列しか作らない。そして親指のような指は交互に右・左に回す。アメリカのものは平行二列をなすが、一組の親指は右に、他の組は左に回す。したがってアメリカのものはヨーロッパ三疊紀を特徴づけるキロテリウムとは異なった新たな四足爬虫類の属に属する。さらに、この巨大な爬虫類は水中ではこのように深くはっきりとした跡をつけることは出来なかつただろうから、空気呼吸をしていたと見なして間違いないと述べている。

ライエルは、「それまで、魚類より高度に組織化された脊椎動物の化石が石炭系のような古い層に発見されたという確証はなかった。そして空気呼吸をする四足動物または鳥類が無いということが石炭系に関して不可思議な否定的な証拠になっていた。なぜなら前に述べたように石炭系は浅い淡水湿地の名残を持っていて、しばしば陸生植物の繁茂した状態を残し、その根も自然のままの状態でも保存されている。このような堆積物では空気呼吸をする生物の遺骸を見つけることは、二、三の昆虫を除き、絶対にないこと、そして鳥類、蛇・亀などの爬虫類の遺骸に出会ったことがなく、あるいはその存在を示すものに遭遇したことがない、ということは説明が付きかねる故、多くの地質学者は石炭紀以後でなければ魚類より高等な生物は進化しなかった、と考えざるをえなくなった」とし、また、サンショウウオやカエルの化石などに言及し色々論議しているが、当時は両生類は爬虫類の中に分類されていて彼の論文を現代に当てはめるにはさらに考察を要するのでここでは触れない。

3. 雨痕‘化石’

雨痕‘化石’、すなわち砂岩などに残された小さな無数の雨滴の跡は1828年、イギリスの三疊系に始めてそれと認められたのだが、ライエルは北アメリカ旅行中、石炭系・三疊系の雨痕‘化石’の産状を視察、標本を入手し、また雨痕生成の現況を観察した。ニュージャージー州の三疊系の新赤色砂岩では、同時に漣痕があり、収縮痕も横切っていて、*Tridactylous*の足跡化石も、*Ganoid*類の化石も産出していた。雨痕‘化石’は色々な強さの一過性の雨を示し、激しく叩きつけられて穴の円形が崩れているものもあり、また、既

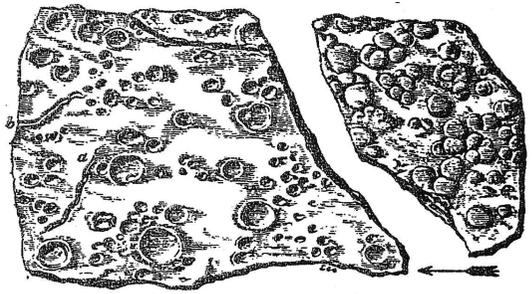


図4 雨痕‘化石’（ノヴァスコシアの石炭系）。左岩板のa、b及び右肩を斜めに走る小溝は環形動物の這い跡化石。右岩板は雄型。矢印は風向。Lyell (1845)より。

に作られた大きな穴に落ちてその形を変えているものもあった。ある場所では西風が吹いていたことを確かめ、また、ある場合には雹（ひょう）の痕跡もある。輪郭は雨のものよりはるかに深く、角ばってぎざぎざがある。最深部はもっと深く、時には底がでている。ある地質学者の言うような気泡でないことは、片側の深さが他方より深いことでわかって述べている。

前項2で述べたGreensburgの石炭系にも雨痕‘化石’があった（図4）。これらは石炭紀の湿潤性気候を確認するものであり、森林は直径数マイルの地域にわたり続いていた。雨滴の径は通常の強さのシャワーを示し、また、大気は密度、温度が現在の地球と同様と考えられ、さらに、足跡化石、環形動物の這い跡（図4）、漣痕の存在とともに、この雨痕は干渴のある海岸環境を示す。雹痕（ひょうこん）は低温の証拠である。ノヴァスコシアのCape Breton, Sydney炭田の30枚の粘土層にも雨痕‘化石’があるが、多くは根を伴った*Stigmaria*の化石、漣痕、収縮痕も同時に観察され、これを覆った頁岩の裏面にはこぶ状の雄型があった。即ち、ここは森に覆われた土地と海浜であったことを示すと考えた。

ライエルは実際に雨が海岸の泥等にどのような跡を残すか、その証拠を得るために1842年にファンデイ湾河口域で泥干渴の雨痕を観察し、また固まった泥の標本をKentvilleのDr. Websterから譲り受けた。雨痕は半インチ（約1.3cm）より小さく、多くはほぼ円形で、長径は短径より5分の1から3分の1長かった。それらの縁部は泥に縁どられ、そして穴から押し出された物質により形成されていた。風が吹き、雨が斜めに降った場合は、穴が楕円形であるだけでなく、一方は片方より深いことがあった。雨は繰り返す潮汐作用によって出来た多数の層の上に痕を残した。

さらにここで、彼はまた、気泡が雨痕のような穴を作るかについて小実験をしている。Kentvilleの固めた泥を少量の水の上に乗せ、その盆を振ったら、表面

から気泡が吹きでて、ノヴァスコシアのものにサイズが似た穴を残した。しかしほとんど全部は完全な円形で縁部が突出したものはなかった。少しだけわずかな狭い縁があったが、雨滴より鋭く平らであった。この縁はどれも楕円形の他端につながるものはなかった。そして多くは幅よりも深さは大きかった。

また、同じ泥の上にスポンジを絞って水滴を10フィート（約3m）の高さから落すと、雨痕同様な穴ができた。学者によっては雨痕は気泡の放出により形成された穴と考えているが、以上の標本の比較により、これら三畳系、石炭系に発見された穴は雨によるものであり、時に見られる気泡によるものではないことを確認した。

注：「雨痕化石」はライエルが述べた fossil rain-marks の訳語である。日本ではこのような非生物起因のものは化石とはよばないが、Fortey (1991) は報告の中に、fossil ripple marks (漣痕化石) の語を用いていて、欧米ではそれほど厳密に定義付けられてはいないようでもある。一方、Case (1982) はその起因が無機物的なものには、pseudofossils (擬化石)、false-fossils (偽化石) の表現を提唱している。本稿ではライエルの表現を尊重したが、本来の化石と区別するため、'化石'、'fossil' とした。

4. シルル紀の足跡化石についての講演。

ライエルは1851年2月、ロンドン地質学会 (Geological Society of London) の総会で行った会長講演の最後に、“Lower Silurian Reptile in Canada” と題して、モンリオール南西の、セントローレンス河南岸、Beauharnois 地方のシルル系下部の白色砂岩中に発見された足跡化石について報告した（この砂岩はポツダム砂岩、Potsdam sandstone、と呼ばれる）。その内容は、この化石についてカナダ政府の初代地質調査所長ローガン (Sir William Logan, 先カンブリア紀地質学の父と呼ばれている；1798-1875) がモンリオール新聞の編集者から報告を受け、その地層の年代査定を行い、ロンドンにその岩板及び石膏鋳型を持参し、オーエン教授（前出）の鑑定を受けたこと。そして、ライエルは教授から「足跡は左右一対ずつで、左側と右側は平行に並び、その中間にははつきりとした溝がある。溝は重い尻尾か、腹部によって作られたものと思われる。動物は四足で陸生、あるいは淡水生のカメ類の特徴に最もよく一致し、前足・後足サイズの不均衡は現存のクサガメ類、例えば *Emys geographica* に見られる」との判定（オーエンの報告は Owen, 1851 参照）を伝えられたというものである。ライエルはさらに、それがカメ類だとすれば、今までに知られた爬虫類の最古のものであり、魚類の最古の化石よりも古い。そして例えばその岩板に同時に存在する *Lingula* (シャミセンガイの類) のような体

制の整った体を持った生物が最初に認められた時代に一致することを述べた。

さて、当時はこの地方の砂岩は下部シルル系と称されていたが、1879年のラプワース (C. Lapworth, 1842-1920) による改名以来、上部オルドヴィス系となっている (Pirsson and Schuchert, 1915)。この時代の北米地方は浅海で、広い干潟があり (Kaljo *et al.*, 1991)、発見された脊椎動物最古の化石は無顎類、棘魚類などであって (Blick and Janvier, 1991)、カメ類のような爬虫類はまだ進化して来ていない。ライエルの言ったようにカメ類の化石が最古の魚類よりも古いということは現在では全く認められないが、当時は研究がそこまで及んでいなかったのかも知れない。

以上、ライエルの北米生痕化石などに関する報告の概要を述べたが、シルル紀の足跡化石に関しては彼の講演から一年後に新たな見解が発表された。すなわち、カナダのローガンは、さらに Beauharnois を中心にその近辺で多くの足跡化石を観察した上、広範囲にわたる地質・層位の調査を行い、ポツダム砂岩がシルル紀 (オルドヴィス紀後期) に属することを再確認した。彼は、延べ20フィート (約6m) を越す岩板3枚を切り出し、また石膏雄型100枚を作成してロンドン地質学会に持参し、オーエン教授の再度の鑑定に供した。そして1852年3月24日同学会総会に於いて、調査した地質および、各地域で発見した足跡の概略について説明した (Logan, 1852)。これについでオーエンはこれらの足跡化石中、明瞭なものを選び (図

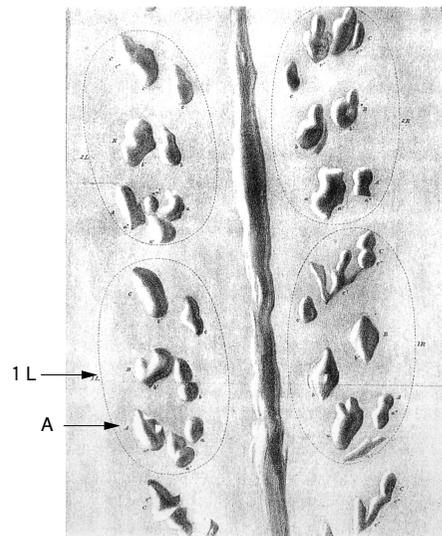


図5 カナダの Beauharnois で発見され、Owen が鑑定した足跡化石、*Protechnites septemnotatus* の一部。1L 中、A の最長径は約2.5cm。Owen (1852) より。

5), それらを便宜上 *Protechnites septemnotatus* など 6種の *Protechnites* にまとめ、おのおのについての考えを発表した。教授は「これらの足跡はカメ類のものに非常によく似ていることは確かである。しかし、足跡はカメ類のものでも、脊椎動物のものでもないとい今は確信するもので、おそらく環節動物甲殻類に属し、*Limulus* (三葉虫) が自分の考えている動物に一番近い」と述べ (Owen, 1852), 前年の鑑定を訂正した。

現在でも、*Protechnites* は *Diplichnites* (大森, 2001) とともに三葉虫足跡とされている (Clarkson, 1993)。一方、セントローレンス河一帯はシルル紀に汽水生の Eurypterids (ウミサソリ類) が繁栄し、体長9フィート (約2.7m) もある *Pterygotus buffaloensis* (Pirsson and Schuchert, 1915) を含め、その多くの化石を産する。また、カナダのデボン系 (Bradley and Milner, 1998) やアメリカ北部の石炭系下層には (Briggs and Rolfe, 1983) 巨大なウミサソリの足跡化石が発見されている。それ故、問題の足跡化石はウミサソリ類が残した可能性も考えられるのではないだろうか。しかしこれについては筆者は専門外ゆえ、これ以上の考察は控えたい。

謝辞

本稿の発表をすすめられ、また校閲をいただいた大森昌衛教授、および初稿について有益なコメントをいただいた、笹川一郎、金光男、会田信行の諸氏に対し深く感謝申し上げます。図1はサウスカロライナ大学トマス・クーバー図書館希少図書部門職員により同館所蔵の原本より複写されたものである。

引用文献

- Blicek, A. and Janvier, P. (1991) Silurian vertebrates. In : Bassett, M. G., Lane, P.D. and Edwards, D. (eds.) *The Murchison Symposium: Proceedings of an international conference on The Silurian System. Special papers in Palaeontology*, 44, 345-389.
- Braddy, S. J. and Milner, A. R. C. (1998) A large arthropod trackway from the Gaspè sandstone groupe (Middle Devonian) of eastern Canada. *Can. J. Earth Sci.* 35, 1116-1122.
- Briggs, D. E. G. and Rolfe, W. D. I. (1983) A giant arthropod trackway from the Lower Mississippian of Pennsylvania. *J. Palaeont.* 57, 377-390.
- Case, G. R. (1982) *A Pictorial Guide to Fossils*. Van Nostrand Reinhold, New York. 514 pp.
- Clarkson, E. N. K. (1993) *Invertebrate Palaeontology and Evolution, 3rd ed.* Chapman & Hall, London. 443 pp.
- Fortey, R. A. (1991) *Fossils: The Key to the Past World*. Harvard University Press, Cambridge, MA. 187pp.
- Hitchcock, E. (1836) Description of the foot marks of birds (Ornithichnites) on new Red Sandstone in Massachusetts. *Amer. J. Sci. Nat.* 29, 307-340.
- Kaljo, D., Nestor, H., and Einasto, R. (1991) Aspects of Silurian carbonate platform sedimentation. In : Bassett, M. G., Lane, P.D. and Edwards, D. (eds.) *The Murchison Symposium: Proceedings of an international conference on The Silurian System. Special papers in Palaeontology*, 44, 205-224.
- Logan, W. E. (1852) On the foot-prints occurring in the Potsdam sandstone of Canada. *Quart. J. Geol. Soc. London* 8, 199-214.
- Lyell, C. (1845) *Travels in North America, in the Years 1841-2; with Geological Observations on the United States, Canada, and Nova Scotia*. John Murray, London, Vol. I, 251 pp, and Vol. II, 231 pp.
- Lyell, C. (1849) *A Second Visit to the United States of North America*. John Murray, London Vol. I, 368 pp, and Vol. II, 385 pp.
- Lyell, C. (1850) *A Second Visit to the United States of North America, 2nd ed., Revised and Corrected*. John Murray, London, Vol. I, 368 pp, and Vol. II, 385 pp.
- 大森昌衛 (2001) 進化の大爆発. 新日本出版社, 179 頁.
- Owen, F. R. S. (1851) Description of the impressions on the Potsdam sandstone, discovered by Mr. Logan in lower Canada. *Quart. J. Geol. Soc. London* 7, 250-252.
- Owen, F. R. S. (1852) Description of the impressions and foot-prints of the Protechnites from the Potsdam sandstone of Canada. *Quart. J. Geol. Soc. London* 8, 214-225.
- Pirsson, L. V., and Schuchert, C. (1915) *A Text-Book of Geology*. John Wiley & Sons, New York, 1051 pp.
- Sarjeant, W.A.S. (1975) Fossil tracks and impressions of vertebrates. In : Frey, R. W. (ed.) *The Study of Trace Fossils - A Synthesis of Principles, Problems, and Procedures in Ichnology*, pp. 283 - 324. Springer, New York, Heidelberg, Berlin.
- Skinner, H.C. (1978) *Charles Lyell on North American Geology*. Arno Press, New York.