

白亜紀/第三紀境界における陸上植物の絶滅とキューバ中部ロマカピロの植物ワックスn-アルカンとの関係

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/26849

氏 名	山本 真也
学 位 の 種 類	博士 (理学)
学 位 記 番 号	博甲第1001号
学位授与の日付	平成20年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	Terrestrial plant extinction at the Cretaceous-Tertiary boundary and sedimentary leaf wax <i>n</i> -alkanes at Loma Capiro, Central Cuba (白亜紀/第三紀境界における陸上植物の絶滅とキューバ中部ロマカピロの植物ワックス <i>n</i> -アルカンとの関係)
論文審査委員 (主査)	長谷川 卓 (自然科学研究科・准教授)
論文審査委員 (副査)	加藤 道雄 (自然科学研究科・教授), 神谷 隆宏 (自然科学研究科・教授), 長谷部 徳子 (環日本海域環境研究センター・准教授), 多田 隆治 (東京大学・教授)

Abstract

We investigated stable carbon isotope compositions ($\delta^{13}\text{C}$) and distribution of leaf wax *n*-alkanes in the marine sequence at Loma Capiro, Central Cuba, to reveal their relationship to the paleovegetation changes at the time of the K-T mass extinction. The sediments contain abundant higher plant leaf wax *n*-alkanes, which are transported by wind, possibly from the northwestern Africa via Northeast trade wind. The $\delta^{13}\text{C}$ values of C_{29} and C_{31} *n*-alkanes ($\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$) and the relative abundance of C_{31} *n*-alkanes of the summed $\text{C}_{29} + \text{C}_{31}$ *n*-alkanes [31/(29+31) ratio] both exhibits significant decrease at the lowermost part of Danian, which are related to the environmental or vegetation changes in the source area. However, plots of the $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ against the 31/(29+31) ratio reveal that the $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ values are controlled not only by environmental or vegetational factors but also by the shift in $\delta^{13}\text{C}$ of atmospheric CO_2 that plants utilize. Consistency in the feature and the duration of 31/(29+31) ratio decrease with globally known terrestrial plant extinction across the K-T boundary suggest that the vegetation is most plausible cause for the variation in 31/(29+31) ratio. Our 31/(29+31) records first revealed the abrupt devastation of land plants and their recovery to pre-boundary conditions within ca. 100 kyr in northwestern Africa at the time of K-T boundary.

1. はじめに

白亜紀/第三紀(K-T)境界(65.5 Ma)の大量絶滅は、顕生累代における5回の大量絶滅イベントの内のひとつに挙げられる。同境界では、石灰質ナノプランクトンや浮遊性有孔虫のほとんど(>90%)が絶滅し(Luterbacher and Premoli Silva, 1964)、陸上植物の15%から80%が絶滅したとされる(Nichols, 2007など)。また、世界各地の同境界層に濃集するイリジウムやメキシコ・ユカタン半島から発見されたK/T境界の年代を示す埋没クレーターの存在から、天体衝突がその要因であったと推定されている(Alvarez et al., 1980)。こうした汎世界的な絶滅イベントにもかかわらず、陸上植物の絶滅率や絶滅の進行速度は地域性を示す。その要因のひとつは、陸上植物の種子や胞子が生態学的に長期にわたり発芽可能であるために、生態系の擾乱に耐えることができたということであろう。しかし、古植生を記録する植物化石の産出には地理的偏りがあり、また花粉化石は運搬・再堆積の影響を受けやすいため、絶滅の地域間の違いが本来の植生以外の要因を反映して可能性も考えられる。海成層に普遍的に含まれる高等植物ワックスに由来する有機化合物は、その供給源となる植生や環境によってその組成を変えることが知られており、これらを用いて地質時代の植生変化が推定されてきた(Hughen et al., 2004など)。従って、植物ワックスに由来する有機化合物はK-T境界の陸上植物絶滅イベントも記録しているものと期待されるが、両者の関係に関する検討は未だなされていない。そこで、本研究では植物ワックスに由来する長鎖 n -アルカンの n -C₃₁の n -C₂₉+ n -C₃₁における割合[31/(29+31)比]と n -C₂₉と n -C₃₁の個別分子炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}$)を調べ、それらがK-T境界における陸上植物の絶滅イベントとの関係を明らかにすることを目的とした。本研究により、高等植物ワックスがK/T境界の植生変化を反映していること明らかにすることができれば、海成層で植生を復元するための強力なツールとなり得る。

2. 試料と手法

本研究で対象とした、キューバ中部に露出するロマカピロセクション(Fig. 1)は、マーストリヒチアン階及びダニアン階の泥岩とそれらに挟まれる層厚11 mの粗粒堆積物からなる。Alegret et al. (2003)は、浮遊性有孔虫層序に基づき、K/T境界を粗粒堆積物基底に推定した。本研究でも、浮遊性有孔虫の産出状況からAlegret et al., (2003)と同様な年代層位範囲が確認された。本研究ではこの粗粒堆積物の上下層の泥岩試料(それぞれマーストリヒチアン階上部、ダニアン階下部に相当)から、高等植物ワックスに由来する長鎖 n -アルカンを抽出し、その含有量をガスクロマトグラフ装置で、個別分子 $\delta^{13}\text{C}$ をGC/燃焼質量分析計により求めた。これら泥岩は、炭酸塩を平均40%~50%含み、有機物含有量が極めて低い(0.01%-0.05%)という特徴を持つ。なお、個別分子 $\delta^{13}\text{C}$ 分析は高知大学海洋コア総合研究センターで実施した。試料間隔は、K-T境界付近で5-10 cm、その他の層準では50-100 cmである。これは、平均約数十万年、境界付近で、約数千年の解像度に相当する。

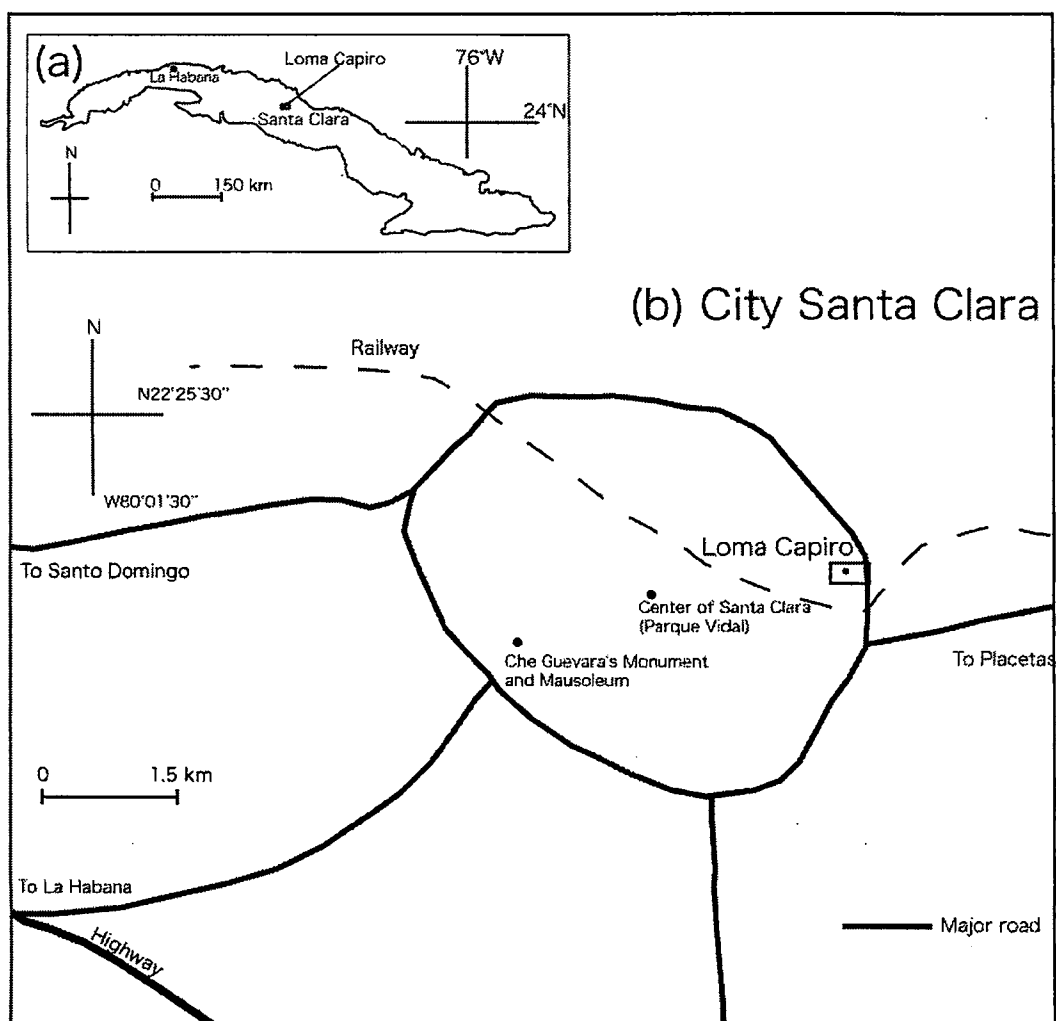


Fig. 1 (a) Map of Cuba showing location of Santa Clara; (b) Detailed map of City Santa Clara showing location of Loma Capiro.

3. 結果と考察

3.1. 高等植物ワックス起源有機分子の運搬様式

本研究で用いた試料から、高等植物ワックスに由来する顕著な奇数優位性（炭素優位性指標 $CPI = 1.8 \sim 7.4$ ）を示す炭素数 27 から 33 の長鎖ノルマルアルカンが検出された (Fig. 2)。これらワックス由来の有機分子が豊富に含まれる一方、陸源有機物（ケロジェン）や樹脂由来の有機分子は稀にしか含まれていなかった。このことは、ワックス由来の有機分子が大気輸送されたことを示唆している。当時の気候シミュレーションは、古カリブ海が北東貿易風の影響下にあったことを示しており、北西アフリカからの北東貿易風による大気輸送が卓越していたことを示唆する。現在のカリブ海でも北大西洋貿易風により多量の風成塵がアフリカから運搬されていることが知られている (Prospero and Lamb, 2003)。

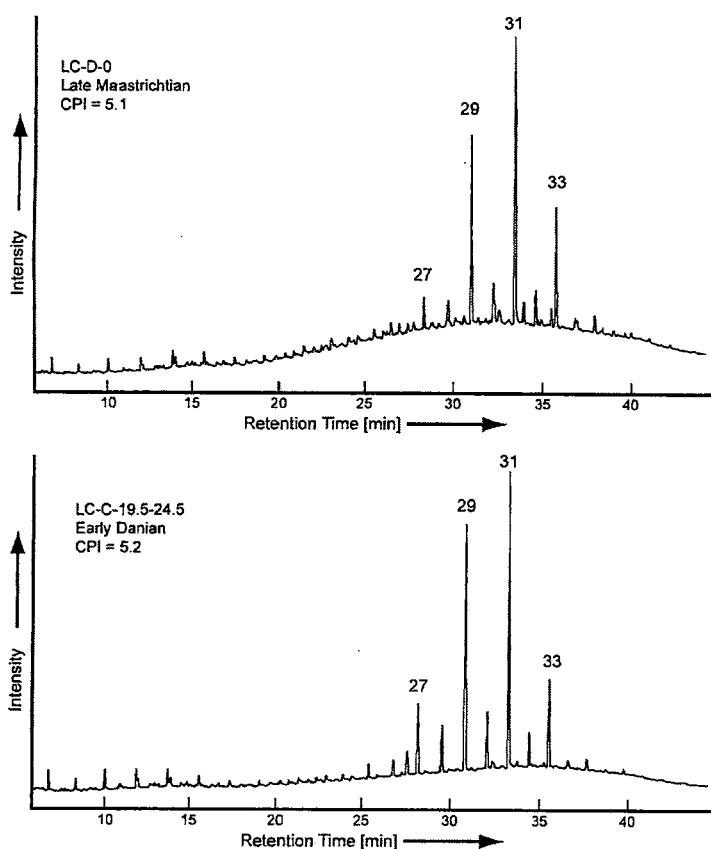


Fig. 2. Typical gas chromatogram of aliphatic hydrocarbon fractions. Numbers indicate *n*-alkanes with the given chain length.

3. 2. K-T 境界における高等植物ワックスの $31/(29+31)$ 比と炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$)

植物ワックスに由来する長鎖 *n*-アルカンの $n\text{-C}_{31}$ の $n\text{-C}_{29}+n\text{-C}_{31}$ における割合 [$31/(29+31)$ 比] と $n\text{-C}_{29}$ と $n\text{-C}_{31}$ の個別分子 $\delta^{13}\text{C}$ の値 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$) の層序学的変動は、K-T 境界からダニアン階最下部で著しく減少する傾向を示した (Fig. 3). 一般に、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ 値と $31/(29+31)$ 比は、植物種間で大きく異なることが知られている (Chikaraishi and Naraoka, 2003). 一方、植物は葉からの蒸散を調節するためにワックスを構成する有機分子の炭素数を生理学的に変えており、 $31/(29+31)$ 比は、湿潤/乾燥状態の変化にも影響を受ける (Scheffuß et al., 2003). そのため、K-T 境界からダニアン階最下部で見られた $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ と $31/(29+31)$ 比の減少は、供給地における植生及び環境変化を示しているものと解釈できる。

また、 $n\text{-C}_{29}$ と $n\text{-C}_{31}$ の $\delta^{13}\text{C}$ と $31/(29+31)$ 比が同一の植生・環境変化を反映していることを確かめるために、それらの関係をクロスプロットにより検討した (Fig. 4). その結果、 $31/(29+31)$ 比が 0.65–0.55 の範囲では、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ と負の相関を示すのに対し、 $31/(29+31)$ 比 0.55 以下の範囲では、相関が見られないという二つの異なる分布が明らかとなった (Fig. 4). これら分布は、 $31/(29+31)$ 比が 0.55 以下になるダニアン階最下部の $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ もしくは $31/(29+31)$ 比が植生・環境変化以外の情報を含んでいることを示唆している。

K-T 境界では、大気二酸化炭素 $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$) の 1.5‰–2.0‰ の負シフトが報告されているため、Fig. 4 の分布から、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ が変化した場合の、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ の変化幅を算出した。そ

の結果算出された $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ の変化幅は、1.2‰~1.3‰であり、K-T境界における $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 変化幅と調和的であった。このことは、ダニアン階最下部の $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ 値が環境・植生による $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ の変化だけではなく、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ の変動も記録していることを示している。すなわち、K-T境界における環境・植生変化は、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ に比べ $31/(29+31)$ 比により正確に反映されていると結論づけられる。

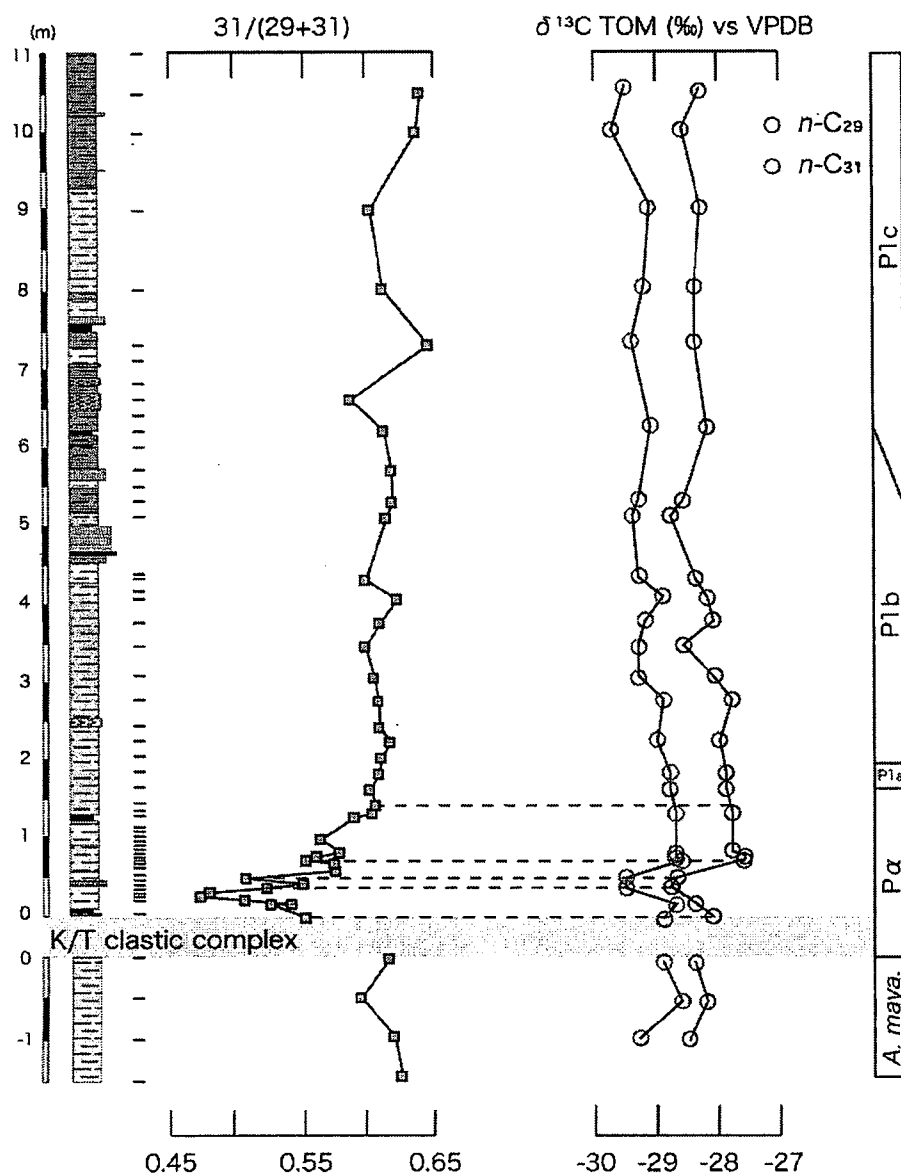


Fig. 3. Stratigraphic variation of $31/(29+31)$ ratio (left) and the $\delta^{13}\text{C}$ of leaf wax n -alkanes (right).

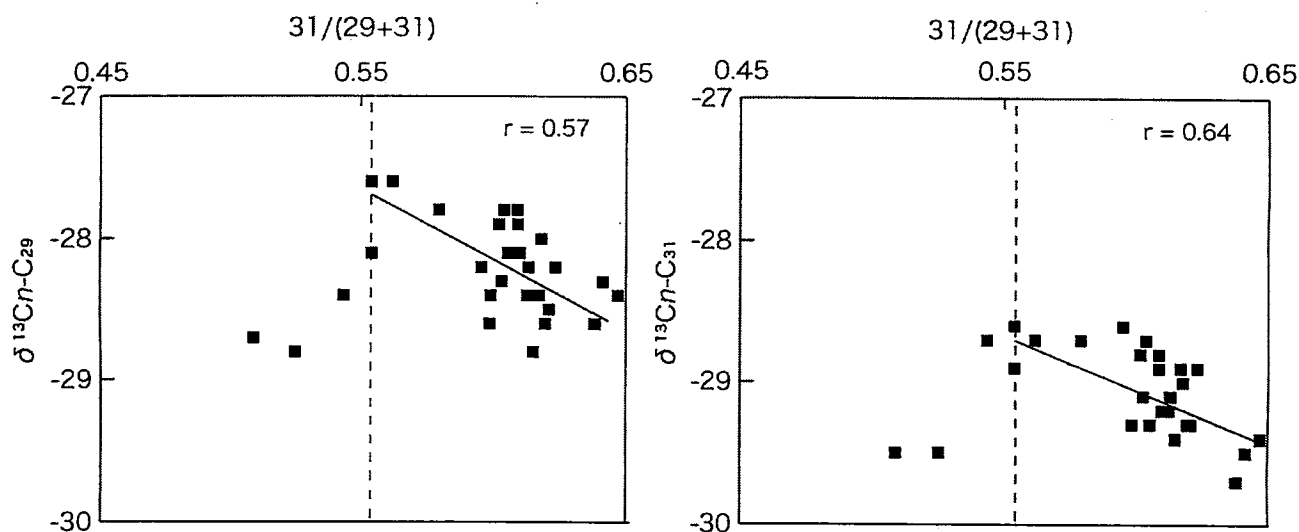


Fig. 4. Cross-plots of (a) $\delta^{13}\text{C}_n\text{-C}_{29}$ and (b) $\delta^{13}\text{C}_n\text{-C}_{31}$ against $31/(29+31)$ ratio.

3. 3. 高等植物ワックスの $31/(29+31)$ 比と古植生との関係

$31/(29+31)$ 比の詳細な層序学的変動は、K-T 境界直上で顕著な減少を示す。この値は境界上 29.2cm にかけてさらに減少し、その後 134.7cm で白亜紀と同じレベルに回復し安定する (Fig. 3)。この $31/(29+31)$ 比の変動パターンは、北米などで確認される K-T 境界における陸上植物絶滅イベントが短期間での絶滅とその後の植物群集の回復で特徴づけられる点、そして陸上生態系の回復期間が境界後 100 kyr 程度であるという点で、同境界の植生変化と調和的である。従って、K-T 境界における $31/(29+31)$ 比の変化は、その環境変化よりも植生変化を反映しているものと考えられる。

3. 4. K-T 境界における北西アフリカの植生変化への示唆

花粉化石に基づき従来北西アフリカで推定されてきた K-T 境界における植生変化は、北米などで見られる天体衝突による瞬時の絶滅ではなく、マーストリヒチアン階上部からダニアン階下部にわたる漸移的な植物の絶滅と植物群集の変化であった (Méon, 1990)。しかし、本研究で明らかとなった $31/(29+31)$ 比の変動は、北西アフリカでの植生変化の進行速度と持続期間が従来の推定に比べ、より劇的であり、北米などの植物記録と調和的であることを明らかにした。このことは、高等植物ワックスが K-T 境界においても植生変化のよい記録者となり得ることを示唆している。

4. 結論

(1) キューバ中部ロマカピロの K-T 境界層には、高等植物ワックス由来の長鎖 n -アルカンが豊富に含まれており、それらは北西アフリカから大気輸送されたものである。

(2) 植物ワックスに由来する長鎖 n -アルカンの $n\text{-C}_{31}$ の $n\text{-C}_{29}+n\text{-C}_{31}$ における割合 [$31/(29+31)$ 比] と $n\text{-C}_{29}$ と $n\text{-C}_{31}$ の個別分子 $\delta^{13}\text{C}$ の値 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$) は、K-T 境界からダニアン階最下部で顕著な減少傾向を示し、環境・植生変化を示唆している。

(3) 31/(29+31)比と $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ のクロスプロットから、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ が環境・植生による $\delta^{13}\text{C}_{\text{wax}}$ の変化だけでなく、大気 $\text{CO}_2\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$) の変化も反映していることが明らかとなった。

(4) 31/(29+31)比の層序学的変動は、その特徴・回復期間という点で、北米などの K-T 境界で見られる陸上植物絶滅イベントと調和的であった。従って、K-T 境界における 31/(29+31) 比の変化は、その環境変化よりも植生変化を反映しているものと考えられる。

(5) 31/(29+31)比の変動から、北西アフリカの K-T 境界における植生変化の進行速度と持続期間が従来の推定に比べ、より劇的であり、北米などの植物記録と調和的であることを明らかにした。

[引用文献]

- Alegret, L. et al., 2005. *Geology* **33**, 721-724.
- Alvarez, L. W. et al., 1980. *Science* **208**, 1095-1108.
- Chikaraishi, Y., Naraoka, H., 2003. *Phytochemistry* **63**, 361-371.
- Hughen, K. A. et al., 2004. *Science* **304**, 1955-1959.
- Luterbacher, H. P., Premoli Silva, I., 1964. *Riv. Ital. Paleont.* **70**, 67-128.
- Méon, H., 1990. *Rev. Palaeobot. Palynol.* **65**, 85-94.
- Nichols, D. J., 2007. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **255**, 22-34.
- Prospero, J. M., Lamb, P. J., 2003. *Science* **302**, 1024-1027.

学位論文審査結果の要旨

約 6550 万年前の白亜紀－第三紀境界には、巨大隕石がユカタン半島に衝突し、恐竜等の大型陸上生物や、海洋生物の大量・一斉絶滅が生じた。環境激変と陸上生命の反応は、現在の地球上で急速に進む汎地球的な環境変化を考える上での重要な示唆を与えるものである。本博士論文は、まだ不明な点が多く残されている白亜紀－第三紀境界の陸上環境の変化、特に高等植物の反応に焦点を当てた。彼はキューバの海成層から陸上植物の分子化石の抽出を行い、従来の研究ではなしえなかった時間解像度での陸上環境変化の議論に成功した。海成層のプランクトン化石を用いた年代情報を用いて陸上植物の記録を海成層の記録と結びつけることが世界で始めて可能になった。更に彼は最先端の手法を用いてその分子化石の炭素同位体比を分析した。その結果、炭酸カルシウムの炭素同位体比記録とは類似する点と異なる点を見出した。分子化石組成から得られる情報と合わせて総括的な議論を展開し、「約 10 万年以内という短期間の間に、陸上植物組成が大きく変化（崩壊）し、また再生するという現象が北アフリカで生じた」という結論に達した。

山本君は現地地質調査による岩相記載、浮遊性有孔虫化石の抽出・鑑定、電子顕微鏡による堆積物観察、抽出性有機物の分析、炭素同位体比の分析など多様な作業をこなした上で上記の重要な結論を得た。これは山本君の研究遂行能力の高さを示している。以上、山本真也君提出の博士論文は博士（理学）の学位を与えるにふさわしく、合格である。