

II-2 古環境変化に基づく災害発生時期推定法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平11～平15

担当チーム：地質チーム

研究担当者：佐々木靖人、柴田光博、阿南修司

【要旨】

過去の地震災害などの発生時期や周期を把握し、災害の発生予測を行うには、地層や地形面の形成年代を精度良く推定することが重要である。本研究では、地層・地形面の相互対比や形成年代を知るための新たな手法として、植物珪酸体、初磁化率、土色について、適用性の検討を行った。その結果、植物珪酸体と初磁化率を利用することで、これまで年代の確定が困難だった地層について、気候変動との対比あるいは年代が既知の地層との対比で年代が推定可能であることが明らかとなった。

キーワード：古環境、ローム、植物珪酸体、初磁化率、土色

1. はじめに

断層活動や斜面変動、海水準変化による災害発生の将来予測のためには、過去に起こった同様の現象の発生時期・頻度・パターンあるいは変化速度などを地形・地質から読み取る必要がある。地層中にテフラ（火山灰）などの年代を示す試料が含まれていることは少なく、地層や地形面の相互対比や形成年代に支障をきたすことが多かった。

そこで本研究では、ローム層の構成物の時間的変化を利用して、地層や地形面の相互対比や形成年代を推定する新たな方法の開発を目的として研究を行った。

2. 研究方法

ローム層の構成物や性状の時間的変化が、地層対比の指標として利用可能かどうかを知るため、地理的に隔たった地域の地層から採取した試料の分析を行い、酸素同位体比などの年代や環境指標との対比、地層相互の対比について検討した。

2.1 試料採取

試料は東日本と西日本のあわせて5地点から採取した。採取箇所は、連続した試料が採取可能で、年代対比のためのテフラが含まれている箇所を選定した。

1) 新潟県小千谷市

新潟県小千谷市において河成段丘堆積物と、それを覆うローム層から採取した試料¹⁾（以下「小千谷」）を用いた。試料は最上部から深さ270cmまで5cm間隔で採取した。柱状図を図-1に示す。

2) 埼玉県さいたま市緑区

埼玉県さいたま市緑区大崎において試料を採取した（以下「浦和」）。試料は深さ方向に5cm間隔で採取し、

初磁化率測定用の7ccプラスチックキューブを用いた不攪乱試料採取も行った（図-1）。

3) 茨城県霞ヶ浦町

茨城県新治郡霞ヶ浦町牛渡において、最上部から深さ235cmまでを5cm間隔で試料（以下「霞ヶ浦」）を採取した。初磁化率測定用の7ccプラスチックキューブを用いた不攪乱試料採取も行った（図-1）。

4) 佐賀県唐津市

佐賀県唐津市七ツ釜において最上部から深さ120cmを5cm間隔で試料（以下「唐津」）を採取した。この地点は第三紀末の約3Maに噴出した玄武岩からなる溶岩台地の上に細粒土層が堆積したものである。

5) 鹿児島県南種子町

鹿児島県熊毛郡南種子町の標高155m地点に位置する露頭で、深さ140cmから510cmを5cm間隔で試料採取した（以下「種子島」）。この地点は、中期更新世海成段丘中の最下位の面にあたる。

2.2 テフラ分析

各地点で採取された試料の相互の対比と酸素同位体比などの環境指標との対比の基準とするためテフラ分析を行った。テフラ降下層準の推定は、露頭観察および室内分析によった。テフラの同定は、ロ

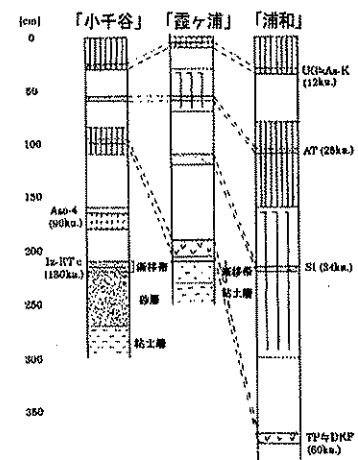


図-1 東日本の試料採取地の柱状図

ーム層中の火山ガラス、鉱物の種類、形態およびそれらの屈折率をもとに行った。

2. 3 植物珪酸体分析

ローム層に普遍的に含まれる植物珪酸体は、堆積時の周辺の植生を反映していると考えられ、環境の指標として利用できる。本研究では、古環境の指標および地層の対比の指標としての有効性を確認するため、「小千谷」、「霞ヶ浦」の2試料について分析を行った。植物珪酸体の抽出と定量は、藤原²⁾をもとに以下の手順で行った。

- ・ 試料を 105℃ で 24 時間乾燥
- ・ 試料約 1g に直径約 40 μm のガラスビーズを約 0.02g 添加
- ・ 電気炉灰化法(550℃, 6 時間)による脱有機物処理
- ・ 超音波洗浄による分散
- ・ 沈底法による 20 μm 以下の微粒子除去
- ・ 封入剤中に分散してプレパラート作成
- ・ 偏光顕微鏡下で計数

計数はガラスビーズが 400 個以上になるまで行い、計算により試料 1g 中の植物珪酸体個数を求めた。同定は、生産量の多いイネ科植物の機動細胞に由来する植物珪酸体を主な対象とした。タケ亜科に関しては珪酸体量から植物体生産量を推定し、各分類群の生産量比率を求めた。

2. 4 初磁化率測定

初磁化率はローム層中の強磁性鉱物の種類、量、粒径、形状と関連している。これらはローム層に供給される風成塵やテフラの性質と、堆積後の地表付近での風化作用によって変化すると考えられるため、堆積直後の地表環境が反映されている可能性がある。このことを確認することを目的に磁化率の測定を行った。

「小千谷」、「唐津」、「種子島」の3試料については試料を風乾し測定容器に封入したもの、「浦和」、「霞ヶ浦」の2試料については露頭面に直接容器を押しつけて充填した。試料を磁化率計(Bartington 社製、MS-2 および MS-2B)にて、印加する交流磁場の低周波数側(465Hz)における初磁化率(LF) および高周波数側(4650 Hz)における初磁化率(HF)を測定した。初磁化率の周波数依存性(FD=(LF - HF) / LF × 100)は、堆積物中の細粒の強磁性鉱物の量を反映していると考えられている³⁾ことから、FDについても検討した。

2. 5 土色測定

深さ方向の土色変化と古環境変化の関係を知ることと、土色による地層の対比の可能性について検討することを目的に、土色測定を行った。

2. 6 蛍光 X 線分析装置による元素組成分析

気候変化と連動した堆積物起源の変化および風化による元素組成の変化を知る目的で、蛍光 X 線分析により、主要元素の存在割合の深さ方向変化を調べた。分析した試料は「小千谷」、「霞ヶ浦」、「唐津」、「種子島」の4試料である。

2. 7 X 線回折装置による鉱物組成分析

堆積物の鉱物組成と風化生成物の変化を知る目的で、「小千谷」、「霞ヶ浦」、「唐津」、「種子島」の4試料について、X 線回折装置による分析を行った。

表-1 各試料採取箇所のテフラの層準

「小千谷」

テフラ	略号	深さ cm	年代
飯綱上樽 c	Iz-KT c	215~210	125~150ka. MIS 6/5.5
阿蘇 4	Aso-4	165~160	70~90ka. MIS 5.2/5.1
大山倉吉	DKP	100~95	43~55ka
始良 Tn	AT	50~45	22~25ka
浅間草津	As-K	30~25	13~14ka

「浦和」

テフラ	略号	深さ cm	年代
立川ローム上部ガラス質	UG	30~35	12ka
始良 Tn	AT	110	22~25ka
三瓶-池田	SI	220	40ka
箱根-東京	HK-TP	375~385	60ka

「霞ヶ浦」

テフラ	略号	深さ cm	年代
立川ローム上部ガラス質	UG	10	12ka
始良 Tn	AT	55	25ka
三瓶-池田	SI	105~110	40ka
箱根-東京	HK-TP	185~205	60ka

「唐津」

テフラ	略号	深さ cm	年代
鬼界アカホヤ	K-Ah	50~55	63ka
始良 Tn	AT	100~105	22~25ka

「種子島」

テフラ	略号	深さ cm	年代
始良-大隅	A-Os	140	22~25ka
種IV		165~170	30~33ka
種III		195	38~41ka
鬼界-葛原	K-Tz	330~385	90~95ka

注) ka : 1000 年, MIS : 海洋酸素同位体ステージ

3. 研究結果

3.1 テフラ分析結果

表-1に各地点のテフラの層準と推定される年代の一覧を示す。なお、SIの年代は、ATとHK-TPの間の堆積速度一定として、種IVおよび種IIIの年代はA-OsとK-Tzの年代値を内挿し推定した。

3.2 植物珪酸体分析結果

「小千谷」の分析結果を図-2に示す。DKPの下位の層準では、植物珪酸体がほとんど見いだされず、堆積後に珪酸体が分解された可能性がある。同様な現象が関東平野のローム層でも知られている⁴⁾ことから、広域的な環境変化を示している可能性がある。DKPの層準は、ミヤコザサなどササ類を主体としたイネ科の植生であり、雪の少ない乾燥した環境が推定される。DKPとATの間は、林床にミヤコザサが繁茂する森林植生と考えられ、下位の層準と同様雪の少ない乾燥した環境が推定される。AT層準では、相対的にチシマザサ、チマキザサが多く、ミヤコザサが少ないことから、雪の多い環境が推定される。As-K層準から表土までは、チシマザサなどのササ類、キビ族、ウシクサ族、シバ族などのイネ科の草原植生が考えられ、雪の多い現在と同様な環境が推定される。

「小千谷」のタケ亜科の比率の変化をみると、ミヤコザサ節は積雪の少ない地域に分布し、ミヤコザサ節を除くクマザサ属（チシマザサ節・チマキザサ節）は多雪地域に分布することから、AT降下（2.2~2.5万年前）以降に積雪量が増加したことを示唆する。ところが花粉分析では日本海側を中心とした多雪化は1.2万年前以降に起こった⁵⁾とされており、時間的なズレを生じている。この理由として、本地点のローム層の堆積速度が比較的遅いため、時間分解能が悪いことが考えられる。

「霞ヶ浦」では図-3のように、珪酸体の構成の特徴から大きく4つに分帯できる。0~25cmでは、温暖な気候を示すメダケ節が検出された。

最表層の10cmは稲作および照葉樹林の成立が示唆され、完新世(MIS1)の温暖化に対応すると考えられる。25~85cmではメダケ節が消失し、寒冷な気候を示すクマザサ属およびミヤコザサ節が優占することから、最終氷期の寒冷期(MIS2)に対応すると考えられる。85~205cmは比較的温暖な気候を示すネザサ節を主体とし、寒冷な気候下で多いミヤコザサ節を含む。105~165cmではより温暖な気候を示すメダケ節が検出されることから、MIS3の亜間氷期に対応するものと考えられる。205~235cmはネザサ節を主体とし、ミヤコザサ節を伴う。周辺にはヨシ属などが生育する湿地の存在が推定される。また海綿骨針が検出され、海の影響を示唆する。230cm以深は灰白色の粘土質水成堆積物でローム層との漸移帯となっている。

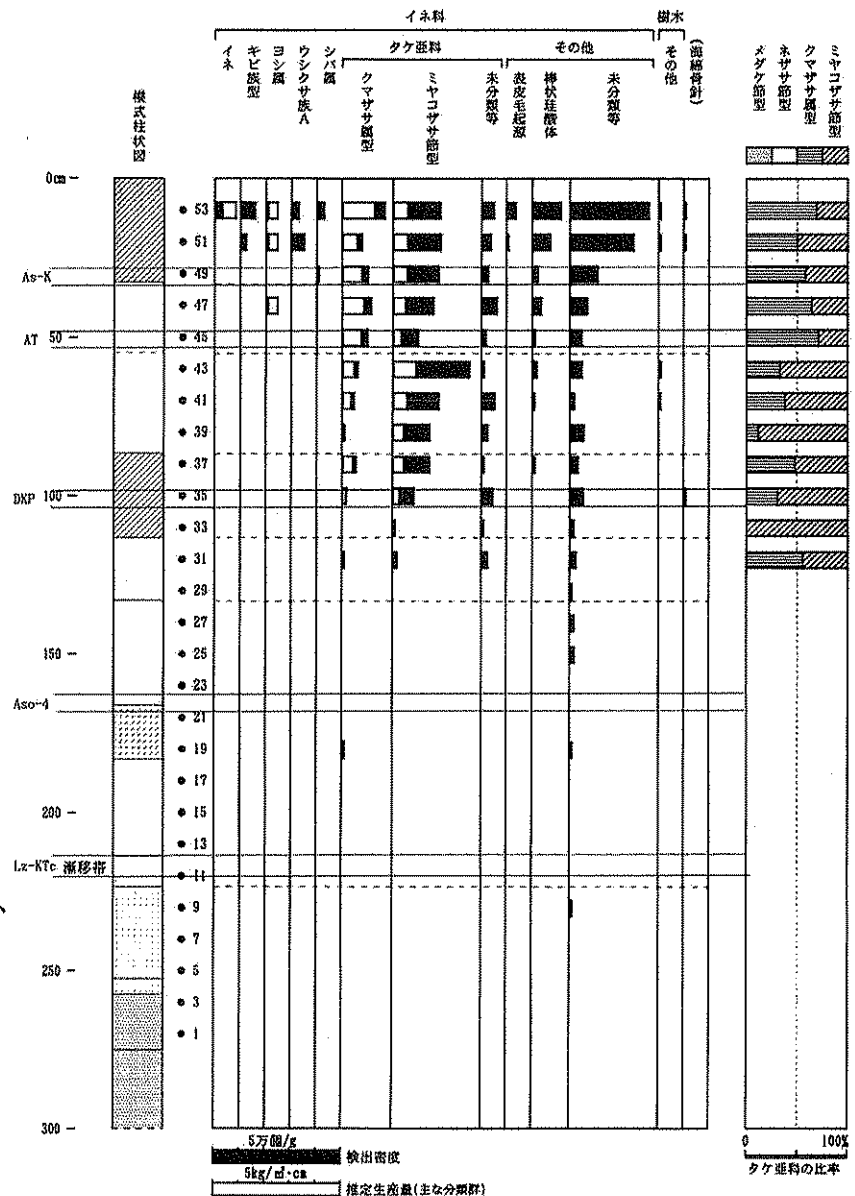


図-2 植物珪酸体分析結果「小千谷」

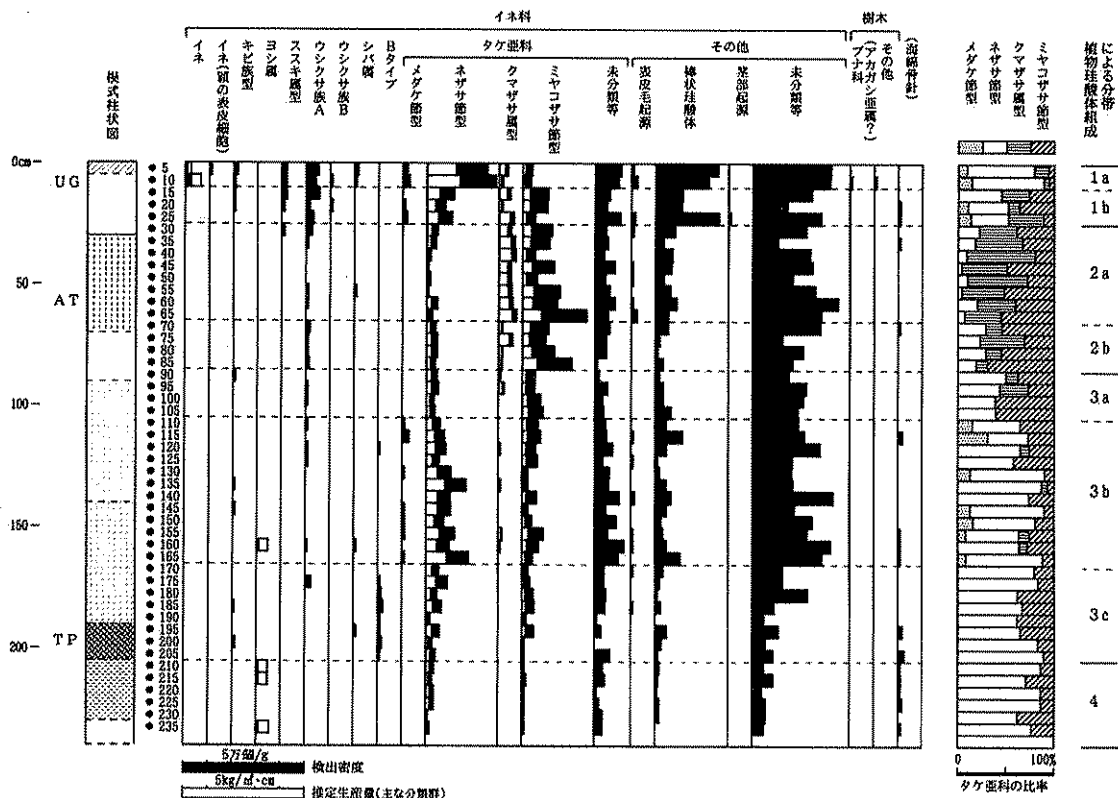


図-3 植物珪酸体分析結果「霞ヶ浦」

上記の2地点における植物珪酸体の分析では、地球規模の気候変化を捉えることができた。「浦和」の露頭付近で行われた植物珪酸体分析の結果⁹⁾もこれらの地球規模の環境変化と整合的である。これらの地球規模の変化に伴う珪酸体の構成の変化とテフラなどによる年代を組み合わせることで、テフラを欠く地層の年代を推定することが可能と思われる。ただし、珪酸体の変化の乏しい時代や堆積速度の遅い地層では精度はあまり期待できない。

3.3 初磁化率測定結果

図-4に各地点の測定結果と、地球規模の環境変化の指標の1つで、気温の変動と相関があるとされている酸素同位体比曲線⁹⁾を示した。これらを比較すると「浦和」および「霞ヶ浦」に比べると「小千谷」、「種子島」および「唐津」は、酸素同位体比と全般的な傾向が一致しており、地球規模の環境変化を記録していると考えられる。初磁化率の周波数依存性について「浦和」のHK-TPの層準でFDとLFを比較すると、LFに対してFDが著しく小さな値となっており、LFでは存在しない約2万年前の値の落ち込みがFDでは顕著に現れる。このFDの落ち込みは「霞ヶ浦」および「小千谷市」でも認められ、氷期の最寒冷期の時期と一致しており、「浦和」および「霞ヶ浦」においても地球規模の環境変化が記録されていることがわかる。

「浦和」と「霞ヶ浦」はLF、FDともによく似た変化を示し、「小千谷」に比べて小さな周期で変化がみられた。これは「小千谷」の堆積速度に対して「霞ヶ浦」が約2倍、「浦和」が約4倍であることから、堆積速度に起因する分解能の違いと考えられる。「浦和」および「霞ヶ浦」においてみられる短い周期の変化は、関東平野のような気候や堆積環境が似かよった地域にみられる地域的な変化と考えられる。

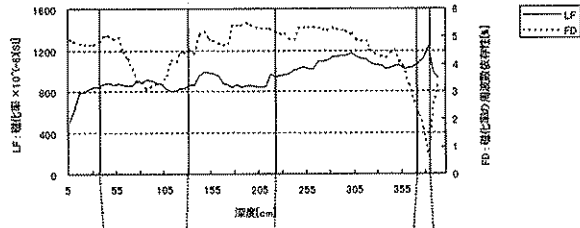
以上の結果より、ロームの初磁化率および初磁化率の周波数依存性の変化は、地球規模の古環境変化と地域的な環境変化と関連している可能性がある。関東ロームのような類似した堆積と風化の環境にあるエリアで短い周期の変化が記録されている場合には、より精度の高いローム層の対比ができる可能性がある。

3.4 土色測定結果

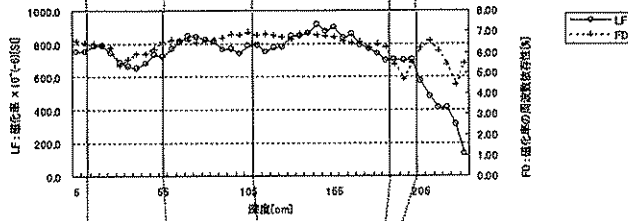
風乾試料を細粒化し土色計（ミノルタ製 SPAD-503）により測色した。

各試料の測定結果をL*a*b*表色系で表したものと、酸素同位体比曲線⁹⁾を図-5に示した。「小千谷」と「種子島」、「唐津市」のL*値（明度）の変化は、酸素同位体比曲線の変化と傾向が類似する。土色の黒みは有機物の量と関係しているといわれており、生物活動や風化作用を反映したものと考えられるが、土色の変化は地域差が非常に大きく、「浦和」と「霞ヶ浦」でも大き

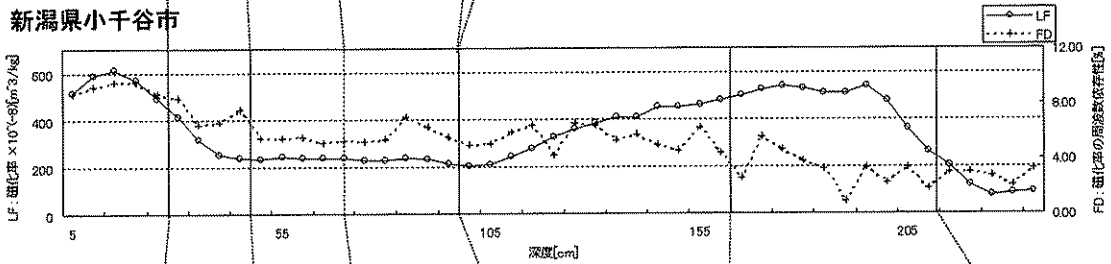
さいたま市緑区大崎



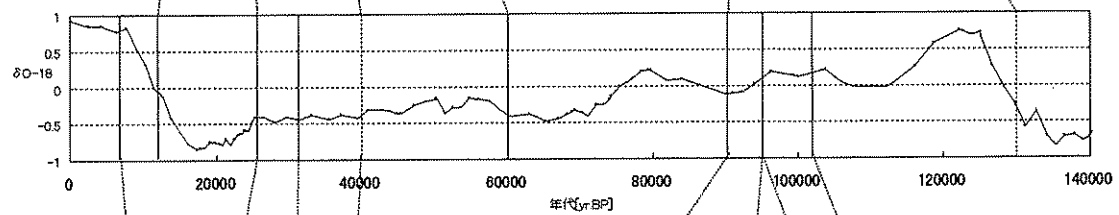
茨城県霞ヶ浦町



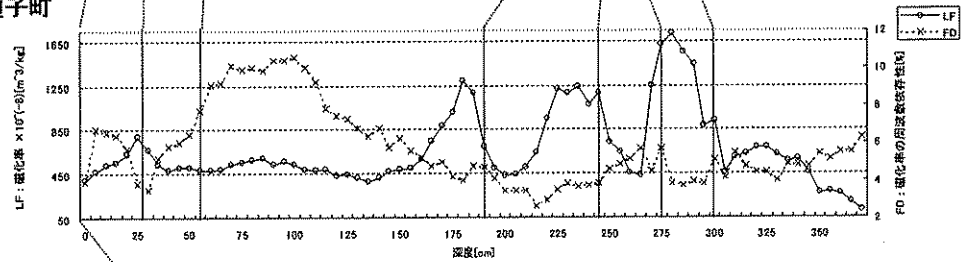
新潟県小千谷市



酸素同位体比曲線^①



鹿児島県南種子町



佐賀県唐津市

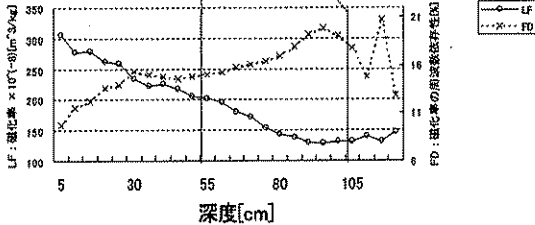
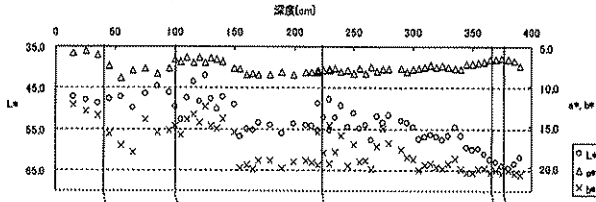
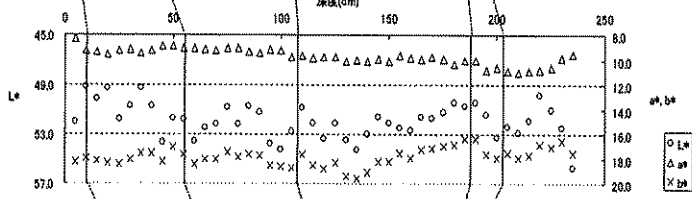


図-4 各地のローム層の初磁化率変化と酸素同位体比曲線との比較

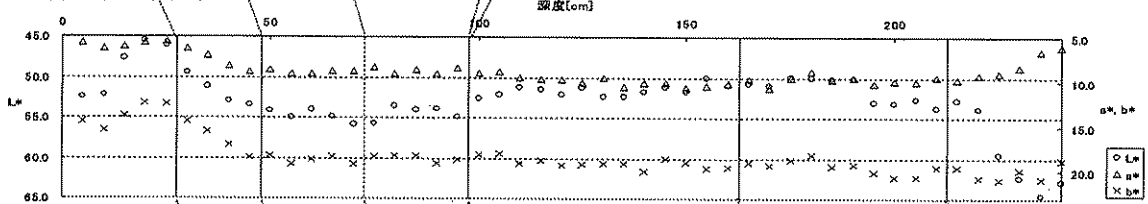
さいたま市緑区大崎



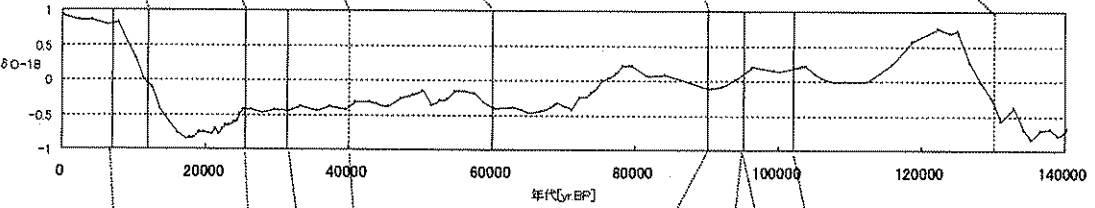
茨城県霞ヶ浦町



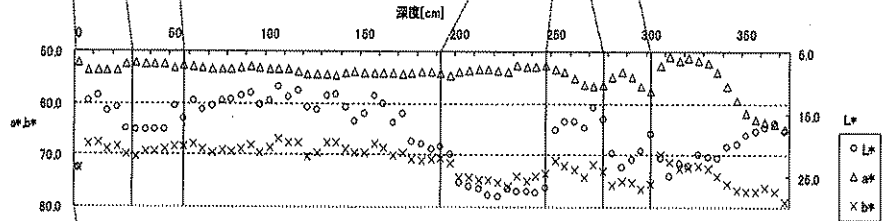
新潟県小千谷市



酸素同位体比曲線^④



鹿児島県南種子町



佐賀県唐津市

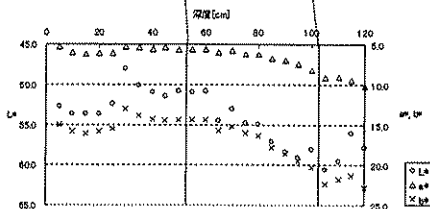
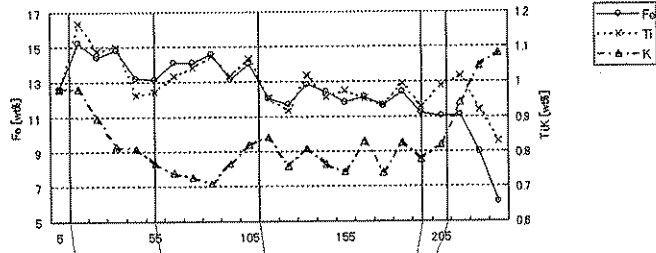
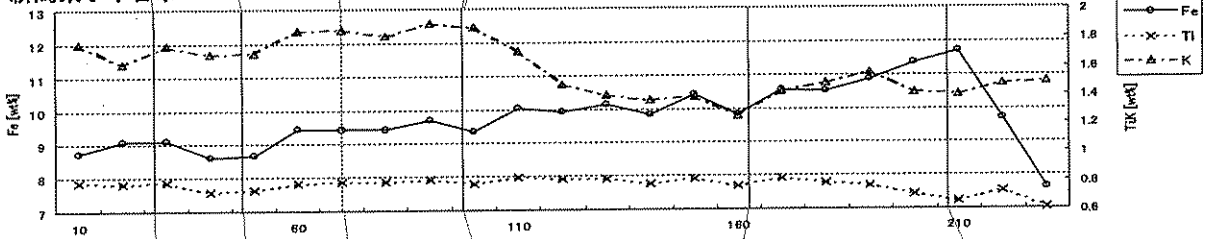


図-5 各地のローム層の色相変化と酸素同位体比曲線との比較

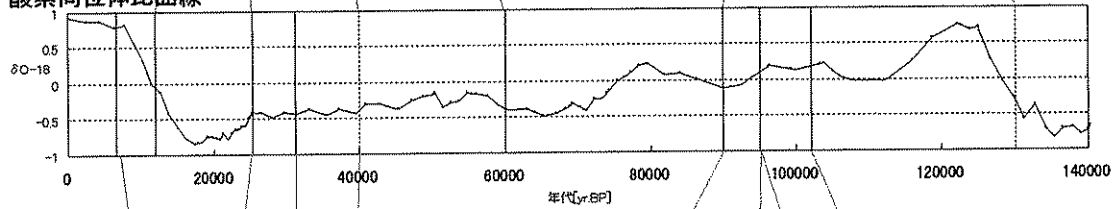
茨城県霞ヶ浦町



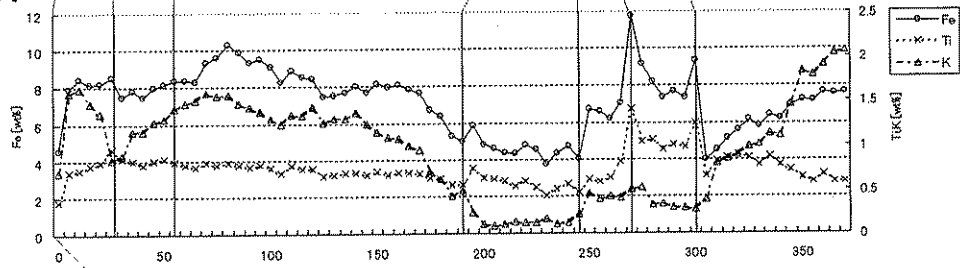
新潟県小千谷市



酸素同位体比曲線⁶⁾



鹿児島県南種子町



佐賀県唐津市

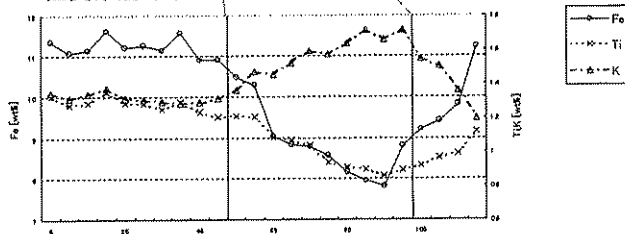


図-6 各地のローム層の元素組成変化(Fe,Ti,K)と酸素同位体比曲線との比較

く異なることから、地層の対比に使用するのには難しいと思われる。

3. 5 蛍光 X 線分析装置による元素組成分析結果

風乾したローム試料を粉末にし、蛍光 X 線分析装置（日本電子製 JSX-3200）で定量分析（バルク FP 法）を行った。

各元素とも深さにより存在割合に増減が見られ、図-6 に示したように K, Ti, Fe の元素の変化曲線と酸素同位対比曲線⁹⁾と全体的な相関が見られた。これらの元素は風化作用と関連があるため、古気温変化による風化作用の変化や、レスなどの堆積物の起源が気候変化によって変動していることが推測される。地層対比の指標としては、地域差が大きく利用は難しいと思われる。

3. 6 X 線回折装置による鉱物組成分析結果

蛍光 X 線分析と同様に粉末試料を用い、X 線回折装置（日本電子製 JDX-3530）で不定方位で分析を行った。

分析の結果、各深さの試料間に鉱物組成の明確な差異は見られなかった。このことは鉱物組成の変化として明確に表れない程度の変化が、初磁化率など他の指標によって捉えられていることを示している。

4. まとめ

各地のローム試料の物性について分析を行った結果、以下のようなことがわかった。

・「植物珪酸体」、「初磁化率」は植生や気候の変化に応じた変化がみられ、古環境の指標として有効であることが確認された。これにより気候変動の年代と比較することにより、地層の堆積年代が推定可能である。

・「植物珪酸体」、「初磁化率」はグローバルな環境変化に応じて変化しており、堆積速度が十分早く分解能が確保できる場合には、地層対比の指標として利用可能である。これにより、年代が既知の地層と対比することが可能となった。

・堆積速度が速い地域においては、「初磁化率」に地域的な変動がみられることがあり、より精度の高い対比ができる可能性がある。

・「土色」、「元素組成」は地域差が大きく地層の対比の指標としては適用が難しい。また「鉱物組成」は環境変化の指標としては不適である。

以上の成果を利用することで、これまでテフラを欠くなど年代の確定が困難だった地層について、気候変動との対比あるいは年代が既知の地層との対比で年代を推定可能となった。今回検討した手法では堆積速度や気候変化の状態などにより分解能に制約があるため、

複数の指標の重ね合わせによる推定精度の確保が課題である。

参考文献

- 1) 金幸隆・品川俊介：ローム層の磁化率測定に基づく段丘面の対比と編年—信濃川中流域、小千谷市付近を事例に—、日本第四紀学会講演要旨集, 29, pp.6~7, 1999
- 2) 藤原宏志：プラント・オパール分析法の基礎的研究(1) —数種イネ科栽培植物の珪酸体標本と定量分析法—、考古学と自然科学, 9, pp.15~29, 1976
- 3) Zheng, H., Oldfield, F., Yu, L., Shaw, J. and An, Z. : The magnetic properties of Particle-sized samples from the Luo Chuan loess section: evidence for pedogenesis, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 68, pp.250~258, 1991
- 4) 佐瀬 隆ほか：武蔵野台地成増における関東ローム層の植物珪酸体分析, 第四紀研究, 26, pp.1~11, 1987
- 5) 安田喜憲：「気候と文明の盛衰」, 朝倉書店, 104p, 1992
- 6) 細野衛・佐瀬隆：浦和市の関東ローム層—とくに鉱物と植物珪酸体について—, 浦和市史「調査報告書第 17 集 自然編」, 埼玉県浦和市役所総務部市史編さん室, pp.83~101, 1985
- 7) Martinson et al. : Age dating and orbital theory of the ice ages : Development of a high-resolution 0 to 300,000 - year chronostratigraphy, *Quat. Res.*, 27, pp.1~29, 1987