

An international journal for New Concepts in Global Tectonics

日本語版 Vol. 8,	, No. 3 (2021年4月)
--------------	-------------------

- Printedition ISSN 2202-0039
- Onlineedition <https://www.ncgtj.org/>

編集長: Louis A.G. HISSINK (louis.hissink@bigpond.com) 編集委員: Bruce LEYBOURNE, USA (leybourne@iascc.org) Giovanni P. GREGORI, Italy (giovanni.gregori@idasc.cnr.it) Yoshihiro KUBOTA, Japan (yokbt@icloud.com)

Per MICHALESEN, Mongolia (perm@must.edu.mn)

日 次

■ 編集者から From the Editor	[赤松 陽 訳]・・・・・2
■ 手紙 Letter to the Editor 編集長のへの手紙 NCGTジャーナル日本読者有志	[久保田喜裕 訳]・・・・・3
■ 原著論文	
The Great Tyrrhenian Transgression: Roberto Mortari 大ティレニア海進	[ 柴 正博 訳 ] ・・・・・4
Effects of Hurricane Laura on the New Madrid Fault Area: Valentino Straser, Daniele Cataldi, Gab	priele Cataldi,
Grampaolo G. Gra	』〔 〔久保田喜裕 訳〕・・・・・16
From Hypothesis to Geological Theory: Vadim Gordienko 仮説から地質理論へ	[小泉 潔 訳]・・・・・17
Space weather-related to potentially destructive seismic activity recorded on a global scale:	
Gabriele Cataldi, Valentino Straser, Daniele C 地球規模で記録された破壊的地震活動に関連した宇宙気象 <要旨>	Cataldu [久保田喜裕 訳]・・・・・29
Earth's Harmony: Muhammad Hassan Asadiyan Falahiyeh 地球の調和	[赤松 陽 訳]・・・・・29
The electric field of the solid Earth and its origin at the base of the mantle: Roberto Mortari 固体地球の電場およびマントル基底における起源 [村山敬真・久保田	]喜裕・小坂共栄 訳]・・・・・31
■ NCGTジャーナルについて	• • • • • • 56

※ NCGTジャーナルへの連絡・通信・原稿掲載には次の方法をご利用ください. NEW CONCEPTS IN GLOBAL TCTONICS
 I. Eメール: louis.hissink@bigpond.com.com, 2. 郵便, 航空便など, 33 Fields Road, Tanja, NSW 2550, Australia (MS Word か ODT ファイル, 図はgif, bmp, tiff フォーマットで別ファイルに, 3. 電話 +61 419 283 775. 免責事項: 免責事項:このジャーナルに掲載されている意見, 見解, アイデアは寄稿者の責任であり, 必ずしも編集者や編集委員会の意見を反映しているわけで はありません. NCGT Journalは国際的査読オンラインジャーナルで, 3月, 6月, 9月, 12月に発行されます. ISSN 番号: ISSN 2202-0039

New Concepts in Global Tectonics ジャーナル 日本語版発行チーム

連絡先 久保田喜裕,950-2113 新潟市西区内野山手2丁目18-9-2,025-263-9435,yokbt@icloud.com [翻訳メンバー] 赤松 陽・岩本広志 (組版担当)・川辺孝幸(翻訳記事選択担当)・窪田安打・久保田喜裕 (連絡・組版担当)・小泉 潔・小坂共栄・ 小松宏昭・佐々木拓郎・柴 正博 (翻訳記事選択・組版担当)・杉山 明・宮城晴耕・村山敬真・矢野孝雄 (翻訳記事選択担当) [事務局メンバー] 赤松 陽・足立久男 (発送)・金井克明 (会計)・川辺孝幸 (HP)・久保田喜裕 (代表)・佐瀬和義・宮城晴耕・矢野孝雄

# 編集者から FROM THE EDITOR

(赤松 陽 [訳]) 本号には・・・・*In this issue* 

2020年コロナウィルスの世界的感染流行は,私た ち多くの人々に新たな挑戦をもたらした.そして NCGTジャーナルにとっても,この時勢の下,NCGT 組織(会員)からの主張(投稿)の急激な落ち込みによっ て困難に直面した.前号(Vol.8,No.2)以降,私たち のホスティング・サービスは、ドメイン名が個人名で はなく法人名になっていたことがわかり,私たちの IEVPCウェブサイトは、管理運営上の制約のために, 突然,閉じなければならなくなった.私たちヨーロッ パの同僚たちはドメインの管理を回復する途上にある が,2021年の地震と火山のモニタリングは私たちの 主要な関心事なので,IEVPCはきっと再興するであろ う.

前号で、私はNCGT ジャーナルの名称変更の可能 性について, 読者の皆様のご意見を伺ったが, 唯一の ご意見は日本の同僚からの共同書簡であり、その内容 は今号のレター欄に掲載されている.しかし、私が彼 らの手紙を受け取る前に、IEVPCの編集委員であり編 集委員会のメンバーでCEOでもあるBruce Leybourne 氏から、プラズマ物理学のさまざまな側面と、地質学 の論文で目立っているプラズマ物理学の欠如について 更なる調査を行った結果、提案されているNCGT ジャーナルの名称変更は、結局のところ、不必要な複 雑化をもたらし、頭文字であるNCGTが、 グローバル テクトニクスと同じように、地球プラズマテクトニク スにおける新概念にも同じように適用できるという認 識に至った。NCGTは、地球規模のテクトニクスだけ でなく、ジオプラズマテクトニクスの新しい概念にも 同様に適用可能である。その場合、プラズマとの関係 は、雑誌の裏表紙の「NCGTについて」の"電気宇宙 論 (electric universe) "のカテゴリーの下にある. この方針変更については、日本の同僚や読者からの手 紙で独自に確認しているため、今後は本誌の誌名 (masthead) に変更はない.

本号では、タイムリーな論文をいくつか紹介する. ひとつはRoberto Mortari氏の論文「The Great Tyrrhenian Transgression (ティレニアン大海進)」 で、2018年中に投稿され、校正されたものの、なぜ かDong Choi氏が亡くなられた直後の版 (Vol.6 No.3) に掲載されることはなかった。理由と事の次第 は謎のままだが、2018年後半にコンピューターがク ラッシュしたため、これが混乱の原因だったのではないかと思う. Roberto Mortari氏は、地球の電場とそのマントル基底部での起源に関する2018年の論文に続くものとして、あらたな論文を著している. イタリアの同僚は、ハリケーン ローラに関連する電磁信号のモニタリングと、宇宙気象と地震活動の関係から得られた魅力的な結果を発表し続けている. Vadim Gordienko氏は、プレートテクトニクス理論のさらなる失敗に関するエッセイを書き、Mohammed Asadiyan氏は、異なる文化的観点から、地球の調和についての小論を記している.

私たちは、興味深い時代に生きているようで、コロ ナウィルスのパンデミックに対する世界的な反応は依 然として不可解なままである. 高齢者は他の人々より もこの病気の影響を受けているようで、米国の政治情 勢は、世界的にも解決しがたい問題を残している. 世 界経済フォーラムの大規模なリッセットが実施されて おり、経済の将来は暗い見通しのように見える. 少な くとも、西側にとっては.

ジャーナルへの投稿数も大幅に減少している.これ はおそらく、創立メンバーが学術始元へのアクセスが 制限される年齢に達したこと、他界したこと、あるい は高齢で論文を発表することが困難になったこと、編 集委員会を通じた知識や経験の貢献はおろか、論文を 発表することさえが困難になったことが原因と考えら れる.

一部の査読者の論調から、私たちが出版するものに 査読が影響を及ぼし始めている.私は、査読者の目的 はただひとつ、すなわち盗作をつきとめること、とい う考え方(school)に従っている.著者が変人 (crackpot)かどうかの判断を下すのは、査読者の役 割でないことは確かである.しかし、学界と同様に科 学が政治化されてきており、これが不協和音の公表に 影響を与えることが明らかになりつつある.NCGT ジャーナルが、歓迎されない注目を集めるかどうか は、それが何を発行するかによって決まりまる.科学 マフィアのいつもの手段は、量子物理学者のデビッ ド・ボーム氏がしたように、不協和音の意見を無視す ることである.私たちは興味深い時代に生きている.

Louis Hissink M.Sc. M. IEEE, MAIG (rtd).

# 編集委員長への手紙 Letter to the Editor

### (久保田喜裕 訳)

NCGTジャーナル編集委員長 Hissink 様および読者の みなさま

NCGT Journal の編集・発行へのご尽力に心から感 謝と敬意を表します.また,私たちは,最近の日本か らの投稿数の減少によって,本誌の内容を豊かにする ことに貢献していないことを心苦しく思っています.

貴殿は NCGT Jounal 7-3 (2019年12月発行)の "From the Editor"の欄で,下記のような誌名変更の 提案と意見を募集しています.大変遅くなりました が,日本の読者有志で議論・検討した誌名変更の提案 に対する意見をお送りします.

「NCGT ジャーナルがとるべき方向は, New Concept in Global Plasma Tectonics Journal ある いは NCGPT Journal の誌名 (masthead) のもとに 進むべきではないかと考える. この変更について読者 の意見を寄せられたい.」

地質学は、物理、化学、生物などの現在科学とは大 きく異なり、地球46億年史という長大な時間軸をもつ 歴史科学という地史的観点によって、過去に学び、現 在を分析し、将来を予測することができる唯一の学問 と理解しています.また、文末に記されている故 NCGTジャーナル編集委員長 D.R.Choi 氏の「NCGT グループ発足の経緯と活動目的」では次のことが述べ られています.

「プレートテクトニクスの視点からではたやすく適合しない**創造的アイデア**について,系統的にフォーカスを当てることを目指しています…

このようなアイデアと研究を、自由に討論できる場を 目指しています。

これには、たとえば、地球や太陽系の回転の影響と 銀河系の影響、地球の進化に関する主要な理論…非常 に広い視点からの見方を含みます….」(太字は筆 者)

上記の観点からすると、今回の誌名変更は、幅広い 視点をもつ従来のNCGTジャーナルから Geoplasma に特化した"the issues of Geoplasma Journal"に変 貌したとの印象をもたれる可能性を懸念します。そこ で、私たちはこれまでどおりのNCGTグループの活動 目的である「地球科学に関するあらゆる分野にひらか れた自由な討論の場であり続ける」ことを強く望みま す. そして, NCGTジャーナルの理念である "ABOUT THE NCGT JOURNAL" (http://ncgrjournal.com/ about.html) を, これまでどおり毎号の裏表紙に掲載 し, 当初の理念を認識し続けることも併せて希望しま す.

NCGTジャーナル日本読者有志:足立久男,赤松 陽,保科裕,金井克明,川辺孝幸,小泉潔,小松宏 昭,小坂共栄,久保田喜裕,宮城晴耕,村山敬真, 佐々木拓郎,柴正博,杉山明,竹越智,寺崎紘一, 角田史雄(五十音順)

# 原著論文 ARTICLES

# 大ティレニア海進 The Great Tyrrhenian Transgression

# Dipartimento di Scienze della Terra – Università La Sapienza, Roma roberto.mortari@gmail.com

### (柴 正博 訳)

**要約**. 多くの海岸線の上昇がイタリア (中央アペニン山脈とサーディニア島) とスペインの広い地域で測定された. もし私たちが小さな地域で考えれば,海岸線ははっきりと,そして正確に個別に隆起している;それは海水準変化が長く停滞して,急激に変化したことが推定される. 海水準変化は,2,528年間ごとに起こり,2つの主要な水準停滞地形 (level stillstands),約2,200年間より長いものと160年間より短いものを生成した. 中央アペニン山脈の地域では,多くのゾーンに関連する9つの隆起シーケンスが記録されている. 各ゾーンは他のゾーンのそれらと異なる隆起をしている. さまざまなゾーンの間で共通しているふたつの標高の違いを分離することと,海水準の意味によって,隆起の影響を差し引いて,270 Ka から始まり,その後まもなく現在の海抜822 m で最高潮に達した大きな海進の痕跡である海水準の単一で共通の連続を再構築することが可能になった. これと同様の連続は、サルデーニャ島とスペインでも認められ、それらは隆起の補正が不必要であり、これらふたつの地域が調べた時間枠の中で高度的に安定していることを示した. アペニン地域では、9つのゾーンの境界は正断層面の露頭になっている.

キーワード: ancient coastlines, Tyrrhenian transgression, cyclic phenomena, uplifts, active and no longer active normal faults, Apennine, Sardinia, Spain, altimetric stability.

#### はじめに

更新世後期の初めには,海面が現在の海面より800 m以上も高くなるような大規模な海進が起こった (Mortari, 2010). Mortari (2017) は, Chappell and Shackleton (1986) によってなされた,その同じ期間 に海は現在の海抜6メートル以上には上昇していない だろうという考えと,この考えとの対立の理由を説明 した.

#### 第1回地形学的調查

最初の,そしておおよそこの海進の再構成は,500 km離れたイタリアの2つの地域での地形学的調査に よって行われた:ひとつはローマの北西10~60kmの 間にあるラティウム中央部(図1)と,もうひとつは イタリア南部のカラブリア(Mortari, 1972)であ る.この調査により,ラティウムでは最大1,049m, カラブリアでは1,328mまでの60以上の海岸線が確認 された.図2の下の部分は,第1領域で得られたデータ を示しており,フレーム内の点は2つの連続する海成 段丘間の標高差を時間の関数として表している.左側 の部分では,地点は8か9のグループに分かれていて,



図1-本文で引用したサイトを含む地図.茶色の破線:地域の境界線.水色の線:河川.緑の線:最初の地形学的調査を行った地域の境界線.赤線:正断層.



図2-ラティウム中央部の海成段丘の標高(E)とその差(δE) (Mortari, 1972より). 丸印はその差を 表し,空丸印は気候的な理由か,あるいは地表面の隆起,あるいはその両方を補正した値を表す.

短い曲線で結ばれている.連続した線は,気候変動や 地殻変動による上昇や下降がなければ,理想的な傾向 がどのようになっていたかを示している.

やがて海岸線間の高低差は減少し,64m以下では海 面の変動が大きく干渉して段丘が連続していないよう に見える.

大規模な海進の間,4つの主要な条件が達成され, それによって測定とそれに続く精緻化が可能になった.

1) 調査した地域全体が傾斜していないので,隆起が 一様であることは,さまざまな海岸線の標高が数km 離れた場所でも同じ値であったという事実から推測さ れる.

2) 水準の変化は、長い水準停滞地形 (stillstands) と急激で広い高度変化 (一般的には10m以上) を伴う 不連続的なものであり、連続する2つの水準停滞地形 のデータは互いに明確に区別されていた。

3) 水準の変化は、ちょうど2,500年以上の一定期間 で周期的に起こっていた.これらのサイクルの間に は、海水準の「一次」水準停滞地形があり、約2,200 年続いた.また、約160年の「二次」水準停滞地形が あり、8~9つの短い水準停滞地形、または「三次」 水準停滞地形があり、それぞれが10年以上続いた.二 次水準停滞地形と次の二つの一次水準停滞地形の間の 三次水準停滞地形の数がほぼ等しい場合、二次段丘の 標高は次の二つの一次段丘の標高の間隔のほぼ中央に ある(Mortari, 2010, 2017).平均的には、一次段 丘の方が二次段丘よりも発達している.

4) 主に火山堆積物が露出している地域では,そのうちのいくつかでは絶対年代測定が行われている.最も興味深い年代は,ある湖成層に挟在する凝灰岩に関連する280Ka (Bonadonna and Bigazzi, 1969)の年代であり,それはローマの北20kmに位置するリアノ近

郊にある48~86m a.s.l.の間に露出し,侵食面を伴う 縁辺からなる. 79m a.s.l.の植生群は,温暖な海洋性 気候からより厳しい条件へと徐々に移行していること を示している(Accordi and Maccagno, 1962).リ アノの地層は,「凝灰質-珪藻岩層」に属し,それは 筆者らによりアルプスのミンデル–リス間氷期または 前リス氷期と呼ばれている (Blanc, 1957; Follieri, 1959).

したがって、全体の海進はこれらの堆積物の堆積が 終わった後に開始されなければならない。そして、海 退期がその発達の概略を示されたときに、進行期は非 常に限られた時間の中で行われたに違いないこのを認cember,2020 識することができた。実際、この進行期に属する段丘

表1–異なる地域で記録された海岸線標高.値が同 じであることから,地域の安定性と海面変化の不 連続性が示唆される.

Latium	Sardinia	Calabria	Milos I.	Somalia G	Somalia B	Easter I.	Barbados I.
233	233						
222							
213	213						
203	203						
192	193						
183	183						
172			172	172			
163			163	163			
152	153		152				
144		144	144			144	
133	133	133	133	133		133	
122		122	122	122		122	
112		112	112	112		112	
102	102	102	102	102		102	
92	92	92	92	92		92	
82		82	82			82	
(73)		(73)	(73)			(73)	
64	64	64	64			64	
(59)	(59)	(59)	(59)	(59)		(59)	(59)
55	56	55	55		55	55	55
45	45	45	45	45	45		44
36	35	36	36	36	36		37
33	33	33	33	33	33		34
27	27	27	27			27	27
22	22	22	22			22	21
18		18	18	18	18	18	18
15		15	15		15	15	
12	12	12	12			12	12
8	8	8				8	6
4		4					

は2つしか発見されておらず,そのうちのひとつは一 次段丘で,もうひとつは二次段丘と考えられている (Mortari 1972, 2010)が,通常の段丘のような平坦な 表面ではなく起伏のような凸部をもっている.

Bonadonna and Bigazzi (1970) は、サバティー/ 火山の最後の噴出物である177,127,97Kaの3つの 凝灰岩の年代を発表しているが、これらの噴出物はそ の南斜面を覆い、それぞれ最低標高124,60,28m a.s.l.で突然停止しており、これはやや低い位置に海が あったことに起因している.これにより、3つの年代 を122m、59m、27mの海岸線 (Mortari,1972) に 帰属させることが可能となり、小規模な海進を時間内 に配置するのに役立った.そしてその暖かさのピーク が同じ火山の側面で採取された海進礫の要素の粒度測 定によって明らかにされた (Mortari, 1972, 2010, 2017).

最も古い海岸線, すなわち最初の2つのグループに 属する海岸線は、ほぼ確実に顕著な隆起を遂げている が、同じ現象が他のグループにも影響を与えているの かどうかを知りたいと思う. この点を明らかにするた めに、表1ではカラブリアだけでなく、他の非常に遠 く離れた地域で測定された同様の標高と比較してい る. すなわち, ミロス島, 2つのソマリアの地点, イースター島 (Mortari, 1972), 最後の列のデータは バルバドス島に関連するもので、Matthews (1973), Broecker et al. (1968) とMesolella et al. (1969) に よるものである。第2列には、より最近の研究の対象 となったサルデーニャ島に関するデータも追加されて いる (Mortari, 2017). 59と73mのすべての値を括弧 で囲んだのは、それらが二次的なものであることが判 明した2つの水準停滞地形に起因しているからであ る.

また,カラブリアでは,最初の調査で測定された海 岸線の一部が隆起の影響を受けており,表1には隆起 が終わった後に形成された段丘の高さだけが記載され ている.すなわち,それ以降の高さはラティウムの高 さと同じであるが,それ以前は高かった (例えば152 mではなく156 m).

標高が同じということは、完全に隆起が同じと解釈 することはできないが、海水準のユースタティックな 動きが同じだったとして解釈することができる; その 理由は, 1) それぞれの地域が他の地域から離れている こと, 2) サルデーニャ島は後期中新世以降の変形を受 けていないこと (Patacca et al., 1990; Gueguen et al., 1998), 3) ソマリアは非活動的縁辺に沿って位置 しているため、垂直方向の動きがないことなどが挙げ られる. したがって、表に記載されている他の領域 表2~9-アペニン山脈中央部の8つの隣接地帯で測定 された海岸線標高. それぞれ2つの値の間にはその差 が挟まれている. 太宇の数字は8つのゾーツに共通 しており,海面高度の平均値である.

Table 2 - M. Tezio

949	15	934	8	926	14	912	24	888	23	865	10	855	22	833	21	812	19
793	18	775	32	743	31	712	19	693	29	664	29	635	27	608	15	593	8
585	13	572	12	560	28	532	26	506	27	479	4	475	13	462	4	458	13
445	14	431	13	418	12	406	10	396	9	387	6	381	7	374	8	366	14
352	16	336	3	333	17	316	6	310	17	293	10	283	17	266	14	252	5
247	13	234	11	223	9	214	10	204	11	193	10	183	11	172	9	163	9
154	10	144	11	133	11	122											

Table 3 - M. Torre Maggiore

1108	29	1079	24	1055	23	1032	22	1010	10	1000	17	983	21	962	19	943	18
925	32	893	14	879	13	866	31	835	28	807	5	802	11	791	8	783	29
754	27	727	8	719	28	691	26	665	26	639	18	621	13	608	14	594	14
580	13	567	11	556	9	547	9	538	10	528	9	519	7	512	10	502	8
494	10	484	7	477	4	473	14	459	6	453	6	447	16	431	9	422	10
412	5	407	17	390	13	377	12	365	6	359	10	349	16	333	6	327	16
311	5	306	14	292	8	284	20	264	8	256	13	243	6	237	4	233	11
222	9	213	10	203	11	192	9	183	11	172	9	163	11	152	8	144	11
133	11	122															

Table 4 – M. Subasic

272	21	1251	19	1232	18	1214	32	1182	23	1159	31	1128	29	1099	15	1084	29
055	27	1028	20	1008	24	984	18	966	14	952	28	924	22	902	26	876	14
62	14	848	6	842	4	838	5	833	27	806	4	802	9	793	13	780	13
67	8	759	10	749	5	744	9	735	6	729	13	716	14	702	11	691	9
682	5	677	11	666	10	656	4	652	13	639	6	633	11	622	5	617	9
508	8	600	4	596	4	592	4	588	4	584	6	578	5	573	4	569	5
64	7	557	4	553	9	544	6	538	7	531	5	526	4	522	5	517	8
09	5	504	6	498	14	484	4	480	5	475	8	467	16	451	17	434	7
27	5	422	7	415	8	407	9	398	6	392	16	376	8	368	16	352	6
46	4	342	4	338	5	333	7	326	14	312	13	299	11	288	6	282	5
.77																	

Table 5 – M. Nerone

1519	7	1512	5	1507	5	1502	21	1481	7	1474	3	1471	14	1457	4	1453	13
1440	13	1427	19	1408	4	1404	18	1386	6	1380	8	1372	10	1362	6	1356	6
1350	7	1343	5	1338	32	1306	19	1287	11	1276	13	1263	4	1259	31	1228	22
1206	6	1200	19	1181	29	1152	12	1140	6	1134	10	1124	13	1111	14	1097	10
1087	6	1081	14	1067	13	1054	13	1041	12	1029	11	1018	11	1007	29	978	14
964	113	951	7	944	11	933	9	924	13	911	27	884	21	875	13	862	29
833	9	824	26	798	4	794	6	788	10	778	5	773	10	763	7	756	6
750	27	723	6	717	9	708	5	703	5	698	5	693	9	684	8	676	9
		· · · · ·													· · · · ·		
667	9	658	13	645	11	634	10	624	5	619	7	612	4	608	6	602	5
597	13	584	7	577	14	563	8	555	6	549	13	536	9	527	5	522	11
511	7	504	6	498	10	488	15	473	9	464	5	459	7	452	9	443	5
438	5	433	4	429	5	424	11	413	4	409	8	401	13	388	4	384	5
379	14	365	16	349	5	344	17	327	7	320	6	314	16	298	1		ĺ

Table 6 - M. Pennino

1560	24	1536	9	1527	23	1504	5	1499	22	1477	21	1456	18	1438	12	1426	14
1412	5	1407	12	1395	18	1377	31	1346	18	1328	32	1296	5	1291	29	1262	12
1250	21	1229	29	1200	21	1179	27	1152	14	1138	28	1110	22	1088	26	1062	8
1054	27	1027	9	1018	4	1014	4	1010	5	1005	6	999	13	986	4	982	8
974	7	967	5	962	10	952	7	945	13	932	6	926	6	920	7	913	11
902	14	888	11	877	13	864	11	853	10	843	9	834	4	830	4	826	4
822	7	815	5	810	8	802	14	788	12	776	16	760	7	753	10	743	9
734	3	731	17	714	6	708	14	694	4	690	16	674	8	666	6	660	8
652	16	636	11	625	7	618	7	611	6	605	7	598	14	584	6	578	9
569	13	556															

Table 7 – M. Catria

1691	22	1669	17	1652	21	1631	4	1627	15	1612	4	1608	11	1597	19	1578	8
1570	4	1566	8	1557	5	1552	18	1534	13	1521	32	1489	31	1458	15	1443	20
1423	21	1402	11	1391	29	1362	12	1350	13	1337	29	1308	26	1282	28	1254	26
1228	27	1201	13	1188	15	1173	14	1159	13	1146	12	1134	14	1120	12	1108	13
1095	11	1084	7	1077	10	1067	9	1058	7	1051	5	1046	13	1033	8	1025	7
1018	6	1012	14	998	16	982	9	973	8	965	10	955	21	934	17	917	10
907	5	902	12	890	17	873	11	862	16	846	14	832	10	822	8	814	8
806	10	796	13	783	11	772	9	763	10	753	15	738	4	734	8	726	11
715	7	708	9	699	10	689	11	678									

Table 8 – M. Gorzano

2281 29 2252 6 2193 11 2182 23 2159 21 2138 2246 24 2222 24 2198 5 
 2119
 9
 2110
 18
 2092
 8
 2084
 32
 2052
 11
 2041
 30
 2011
 29
 1982
 29
 1953

 1926
 28
 1898
 27
 1871
 27
 1844
 13
 1831
 13
 1818
 14
 1804
 5
 1799
 13
 1786
 1799 **13** 1786 **11**  
 5
 1743
 7
 1736
 10
 1726
 8
 1718
 9
 1709

 7
 1647
 17
 1630
 26
 1604
 16
 1588
 12
 1576
 1775 10 1765 9 1756 8 1748 1718 9 1709 14 **15** 1680 **16** 1664 10 1654 14 1695 
 6
 1556
 11
 1545

 6
 1478
 5
 1473
 1517 13 1504 11 1534 10 1490 5 1468 3 1465 **11** 1454 4 1450 4 1446 10 1436 4 1484 
 1432
 11
 1421
 5
 1416
 4
 1412
 8
 1404
 8
 1396
 5
 1391
 5
 1386

 1377
 6
 1371
 3
 1368
 4
 1364
 10
 1354
 6
 1348
 5
 1343
 11
 1332
 1381 1314 8 1306 7 1299 3 1296 9 1297 4 1283 **11** 1272 8 1264 **9** 1255

Table 9 – M. Vettore

2364	29	2335	15	2320	28	2292	8	2284	24	2260	15	2245	23	2222	22	2200	18
2182 <sup>g</sup>	21	2161	15	2146	19	2127	17	2110	18	2092	32	2060	5	2055	31	2024	29
1995	15	1980	29	1951	27	1924	28	1896	10	1886	26	1860	20	1840	27	1813	13
1800	13	1787	14	1773	13	1760	11	1749	4	1745	9	1736	10	1726	9	1717	7
1710	8	1702	14	1688	16	1672	11	1661	16	1645	9	1636	7	1629	25	1604	17
1587	13	1574	13	1581	6	1555	14	1541	16	1525	16	1509	7	1502	14	1488	13
1475	8	1467	11	1456	9	1447	9	1438	7	1431	10	1421	9	1412	19	1393	5
1388	6	1382	5	1377	10	1367	4	1363	11	1352	14	1338	5	1333	4	1329	9
1320																	

も、少なくともある瞬間から安定している。

#### 第2回調査

表1の標高の値は安定している地域または近年安定 してきた地域を示しており、それ故、海水準変化の ユースタティックな値を表している。しかし、標高の 高いところでさまざまな重要な隆起が起こったと考え られるため、ラティウムの標高がそれぞれ233m以上 とカラブリアの144m以上の部分については同じこと を言うことはできない。そのため、海進の正確な実体 は不明のままであり、海水準の変化だけでなく隆起の 実体を測定するためにも別の調査を行う必要があると 考えられた (Mortari, 1987). その手順を明確にする ために、図3では同じ地盤の形状を2つの異なるモーメ ントで表現している:ひとつは地表面の造山的な隆起 前と、もうひとつはその後であり、隆起は地表面の長 さd'分についての高さである。ここでは、隆起の前に 海が高度Aにあると仮定してみよう. 点1では海進に よって地形学的段丘が形成され、その後に地面の隆起 によって長さd'だけ高くなる.この瞬間から,同じ位 置にとどまっていた海水準は、点2の別の段丘を浸食 し始め、海面が長さdだけ下がり、点3に独自の海岸 線をもつ更なる段丘が形成される。そのため、隆起の 実体を知るためには最初の調査とは違って、さまざま な重要性をもつ段丘を一次的なものなのか、一次的な ものの複製なのか、二次的なものなのかあるいはそれ らの複製なのかを気にすることなく、測定する必要が あったのである.

この検証のためには、2つの異なる速度で上昇した 2つの連続したゾーンを見つける必要があり、それに よりその標高シーケンスの中では高度差は、もしそれ らがユースタティックな変化に起因するものであれば 等しく、ランダムな隆起に起因するものであれば異 なっていたと考えられる。ウンブリア・マルケ州のア



図3-段丘はユースタティズムまたは隆起から生じた.海面がAにあったときに,海岸線1 (ユースタ ティック)と海岸線2 (隆起)の痕跡が形成された. その後,海面がAからBに下がって,新しい海岸線3 (ユースタティック)の痕跡が形成された.

ペニン山脈にある地域が選ばれ、調査はヴェットーレ 山(図1のV地点)を中心に開始されたが、アペニン 山脈のこの地域の最高峰 (2,476m) であることから, おそらく今でも隆起していると思われる。調査の最初 の部分は、ラティウムのように、そこでも隆起によっ てさまざまな海岸線の水平方向の配置が時間的に変化 していないという本質的な条件を確認するためになさ れた、縮尺25,000分の1の公式地図を使って、さまざ まな海岸線を特定し、数キロ離れた場所でも同じ標高 を見つけるために測定した。測定点を増やして調査範 囲を拡大すると、ある限界を超えて、北と南の両方に 向かって急に完全に海抜が変化していることがわかっ た、調査は、発見された限界を超えてもSWに向かっ て強化され、以前のものと比較可能な新しい標高の シーケンスが得られた.このようにして,第2のゾー ンが確認され、図1ではゴルツァーノ山 (2,458m) の 最も高いレリーフの頭文字からGの文字で示されてい る。その後、調査は継続され、最高のレリーフの名前 からC, P, N, S, M, Tの文字で示された地域に関 連する他の6つのシーケンスを識別するために拡張さ れた. それらは、カトリア山(1,701m), ペニーノ 山 (1,571m), ネローネ山 (1,525m), スバシオ山 (1,290m), トッレ・マッジョーレ山 (1,121m), テツィオ山 (961m) である.

結果は表2-9にまとめられ,最西端から最東端の ゾーンに順に並べられた.表では,測定された標高 (メートル単位)とその差が交互に表示されており,そ の結果,値によって2種類のシーケンスを区別するこ とができる.ユースタティックな変化d(図3を参 照) は認識され,さまざまなゾーンで同一であるか 最大偏差が1mであることから太字で表示されてい る.

#### 第3回調査

第3回調査は最近行われ、ラティウム中央部のルク レティリ、ティブルティーニ、プレネスティーニの3 つの山を対象としたもので、最初のものはアニエン川 の北側、他の2つは南側にある (図1参照). レリーフ は、ペレッキア山 (図中のPe) を中心とした北部の最 高標高1,368m、アニエンの南1,218 mに達する.

衛星画像を使用し、Pro版のGoogle Earthでウェブ 上にロードした.ペレッキア山と呼べるこのゾーンの 境界は、図1に赤い色の線で示されている.測定され た標高は表10にまとめられている.前2回の調査とは 異なり、各検出点の地理座標が提供され、表11に示 されている.

トッレ・マッジョーレ山、ゴルザノ山、ベトレ山地

域(表3,8,9)では、2つの最初の(一次)段丘の 間に29mの標高差があったが、テツィオ山とペレッキ ア山地域(表2,10)では、最初の2つの一次水準停 滞地形の間に含まれる二次水準停滞地形の形成中に隆 起が起こったため、この値は15と14m、または14と 15mの2つに分けられている.これらの二次段丘とそ の複製はイタリック体で示されている.

第3回目の調査では他の二次的な段丘が確認されて いるが、それらも上述の通り、2つの一次的な段丘の 間に正確に位置しているため、それを認識することが できた.それらは表11に斜体で示されている.

とくに標高の低いところでは、いくつかの海岸線が 谷底で測定されていることに注目すべきであり、これ は河岸段丘が底面の主要な振動によって決定されると いう一般的な意見とは反対である (Mortari, 2005a). ここでは、海が急速に下がるたびに河口が下流に移動 し、海が最後に堆積した洪水を侵食しているときに、 同じ河口が上流に移動したと仮定している.最後に、 安定した河口の側面には、谷と直交するように段差が 形成されることが多く、少なくとも2~3mの高さがあ れば検出できる.頻繁に形成された縦方向のステップ が形成されるが、そのベースは海底の局所的な位置か ら派生して可変の標高をもっているので、それは信頼 性がない.

表10-ローマの東約40kmにあるペレッキア山のゾーンとの相対的な海岸線の標高とその差.

1084	14	1070	4	1066	15	105	11	1040	3	1037	4	1033	3	1030	5	1025	3
1022	4	1018	24	994	12	982	19	963	7	956	23	933	7	926	22	904	21
883	8	875	19	856	11	845	6	839	5	834	12	822	5	817	4	813	4
809	3	806	18	788	32	756	11	745	31	714	29	685	4	681	20	661	29
632	27	605	28	577	2	575	26	549	4	545	27	518	3	515	14	501	14
487	5	482	15	467	5	462	4	458	14	444	9	435	12	423	11	412	9
403	15	388	5	383	7	376	7	369	14	355	3	352	16	336	17	319	6
313	8	305	11	294	16	278	3	275	16	259	13	246	13	233	11	222	

#### ユースタティック変化の理想的な連続の見つけ方

収集されたデータの分析のために,ユースタティッ クな海水準変動(図3参照)に起因する,第2回調査 に関連する8つのd値のシーケンスが,表12の最初の8 列にまとめられている.ここで,T,M,S,N,P,C,G, Vの文字はシングルゾーンを示している.

δで示した第10列では、最も確率の高い全体的な 海抜差の連続が示されている。最後に、第11列の海水 準停滞地形の標高Eの理想的なシーケンスは、テツィ オ山とトッレ・マッジョーレ山の地域(表2と3)では 表1に示された値と同じ183から122 m a.s.l.の間の7 つの最も低い標高の値の観測から導き出される。隆起 による修正を受けていないことを示しているためそれ は海進の真の水準停滞地形を表している。δの各種値

表11-ペレッキア山の	ハゾーン	で測定さ	ミれた代	表的な
海岸線点の地理座標				

F (m)	Lot N	Long F	F	Lat N	Long F	F	Lat N	Long F
1084	41950'12 02"	12059'19 46"	P12	41951'20 11"	12056'29 49"	425	42904'20.86"	12°52'20 46"
1034	41 59 15.03	12 58 18.40	800	41 51 29.11	12 50 58.48	435	41957'10.64"	12 55 59.40
1070	41 55 55.27	12 33 04.43	809	41 59 50.92	12 58 29.58	429	41 57 10.04	12 50 29.00
10/0	41 54 07.17	12 55 57.08	800	42 08 51.51	12 50 50.50	423	41 50 52.20	12 39 32.89
1051	41 34 00.02	12 50 05.82	800	42 05 52.88	12 55 52.80	423	41 50 14.05	12 48 33.00
1051	42 03 34.84	12 50 58.04	707	41 50 59.10	12 50 20.08	412	41 50 52.95	12 50 58:15
1031	41 30.20.00	12 34 45.83	707	42 08 55.97	12 50 55.97	412	41 54 23.90	12 58 55.20
1040	42 00 40.90	12 52 27.79	707	41 51 28.92	12 50 15.04	412	41 54 22.90	12 56 25.65
1037	42 04 30.11	12 39 02.98	790	41 51 19.05	12 50 54.77	407	41 50 37.29	12 50 50.55
1037	41 36 22.19	12 34 30.00	772	41 31 00.03	12 30 23.73	403	41 33 09.34	12 38 32.32
1037	41 34 33.98	12 33 37.33	772	42 06 24.68	12 49 42.34	403	41 33 40.98	13 02 20.82
1030	42 03 32.19	12 50 21.59	756	42 00 27.90	12 57 11.55	403	41 55 28.52	13 02 44.55
1033	41-54 14.92	12-55 47.53	750	41-53 22.25	13-01 31.93	396	41-56 17.25	12-98 27.00
1030	41-55 16.51	12-56 06.81	/45 New-0	42-09 32.25 Oncepts in Global	12-56 23.40 Tectonics Journal	396	41-56 16.05	12-57 12.32 Decembers 2020
1025 -	41-54 36.23	12-55 27.91	745	41-51-14.39	12-56 09.13	392	41-57 03.88	12-5/ 3/.96
1025	41-54 21.46	12-55 47.76	745	41-51 14:16	12-55 58.24	392	42-03 57.85	12-54 25.94
1022	41°54°39.72″	12°55'22.19"	729	42°00'35.74"	12°57'23.65"	388	41°53'46.26"	13°02'48.95"
E (m)	Lat. N	Long. E	E	Lat. N	Long. E	E	Lat. N	Long. E
1022	41°52'25.58"	12°55'52.58"	714	42°03'44.33"	12°59'38.97"	383	41°58'47.16"	12°56'19.73"
1018	42°03'22.29"	12°50'48.01"	714	42°04'50.19"	12°56'31.08"	383	41°53'55.26"	13°02'59.63"
1018	41°52'37.82"	12°56'00.19"	699	42°05'37.27"	12°49'05.27"	376	41°54'12.87"	13°03'14.75"
1005	42°06'13.38"	12°51'24.96"	699	41°59'56.56"	12°58'47.97"	369	42°03'16.00"	12°54'25.49"
994	41°54'33.07"	12°55'05.95"	685	42°10'26.26"	12°55'27.72"	369	41°54'35.83"	13°03'30.02"
982	42°07'55.51"	12°53'57.31"	685	42°05'04.16"	12°54'55.74"	369	41°55'22.45"	13°02'21.19"
963	42°07'50.22"	12°53'47.57"	681	42°04'59.00"	12°54'51.35"	362	41°55'06.88"	13°03'23.39"
956	41°58'49.84"	12°58ì14.34"	681	41°53'05.84"	13°06'09.43"	355	41°56'53.85"	12°52'34.83"
956	42°00'24.69"	12°57'51.62"	661	42°04'52.20"	13°00'16.35"	355	41°55'48.45"	13°03'11.90"
956	42°08'04.11"	12°54'01.47"	632	42°05'08.17"	13°00'17.51"	352	41°56'06.70"	13°03'18.51"
945	41°52'55.17"	12°56'14.03"	632	42°05'18.15"	12°53'23.44"	344	42°02'16.55"	12°54'19.59"
933	41°58'56.70"	12°58'08.78"	632	42°11'06.48"	12°55'00.81"	336	41°58'11.64"	13°02'03.88"
933	41°57'35.91"	12°58'23.65"	618	42°05'56.40"	13°00'37.03"	336	41°58'12.75"	13°02'05.76"
926	41°59'00.26"	12°58'06.49"	605	41°55'18.62"	12°51'36.92"	328	42°00'03.44"	13°01'19.10"
915	41°57'29.22"	12°58'32.31"	577	41°51'47.68"	12°58'31.37"	319	42°02'01.74"	12°58'06.98"
904	41°59'12.48"	12°57'56.41"	575	42°00'14.45"	12°59'16.71"	319	41°50'08.30"	12°58'17.13"
904	42°09'36.74"	12°58'57.01"	575	41°53'08.30"	12°59'21.20"	318	42°01'37.10"	12°58'40.04"
892	42°06'03.56"	12°50'25.46"	562	42°05'55.03"	12°47'31.07"	313	41°48'36.93"	12°56'22.64"
892	42°06'08.49"	12°50'25.35"	549	41°58'26.84"	12°49'06.48"	305	42°01'52.20"	12°56'49.89"
883	41°59'30.37"	12°57'43.10"	549	41°55'24.03"	12°53'32.97"	294	42°01'08.77"	12°55'40.28"
875	41°59'33.53"	12°57'40.65"	545	42°09'25.21"	13°00'18.73"	294	41°48'54.12"	12°55'43.03"
867	41°58'03.59"	12°58'31.99"	518	42°01'37.17"	12°53'10.23"	278	42°00'57.05"	12°54'25.72"
856	41°59'51.96"	12°57'24.06"	515	41°56'34.48"	12°48'27.91"	275	41°48'15.53"	12°56'05.70"
856	41°58'07.10"	12°58'26.83"	508	41°56'32.56"	12°48'25.59"	275	41°48'08.69"	12°56'33.58"
845	41°51'33.07"	12°55'11.16"	501	42°09'58.78"	12°50'33.27"	275	41°58'47.03"	12°51'40.36"
839	41°51'58.37"	12°56'18.82"	501	42°04'57.38"	12°53'21.65"	259	42°00'07.18"	12°52'44.60"
834	41°51'27.23"	12°55'28.62"	487	41°56'38.55"	12°48'19.37"	259	41°47'43.17"	12°56'44.58"
822	42°06'37.75"	12°50'04.14"	482	41°56'14.90"	12°51'30.39"	246	41°56'20.05"	12°50'28.00"
822	41°51'26.40"	12°55'42.68"	475	41°57'18.49"	12°56'19.31"	233	41°57'05.63"	12°49'17.36"
822	41°51'30.62"	12°56'39.10"	467	41°56'02.40"	12°48'53.47"	222	41°57'09.15"	12°49'08.86"
822	42°09'17.30"	12°50'45.36"	462	42°04'43.87"	12°53'29.53"	222	41°57'19.64"	12°48'33.04"
822	41°51'28.51"	12°56'39.58"	458	41°56'23.12"	13°01'00.28"	217	41°58'14.33"	12°48'24.54"
817	41°51'23.66"	12°56'37.54"	444	41°55'37.39"	13°01'50.67"	139	41°58'05.61"	12°48'01.11"

を最小値 (122m) に毎回加算することで,現在の海抜 822mの最高高度が得られ,これはGTT (大ティレニ ア海進)の実体の正確な値を表している.

2つのゾーンMとGについては、2つの最も高い一次 段丘のほぼ中間に位置し、それぞれ標高1,093mと 2,267mで二次水準停滞地形が検出されたことに注意 すべきであるが、簡単にするために関連する表には記 載していない.表2-9の値によれば、表10の10番目の 列に347mの値があるはずであるが、1次段丘ではな く2次段丘と考えられているため、そこにはない.実 際、9列目の中央に現れる15mの d の値は、個々の表 に存在する2つの値7と8mを融合させたものであり、 2次と1次の段丘に関係している.347mの段丘で触れ た運命は、表1に示した73mの段丘と同じである.こ れは、後述するように、均質なデータ、すなわち一次 水準停滞地形に関連するデータを探す際に必要なこと であった.

#### 第4回調査

第4回調査は、イタリア半島が被った隆起運動が、

Т	м	S	Ν	Р	С	G	V	Pe	δ	E(m)
										822
29	29					29	29	29	29	793
24	24			24		24	24	24	24	769
23	23			23		24	23	23	23	746
22	22			22	22	23	22	22	22	724
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	703
19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	684
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	666
32	32	32	32	31	32	32	32	32	32	634
31	31	31	31	32	31	30	31	31	31	603
29	28	29	29	29	29	29	29	29	29	574
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	545
27	27	27	27	26	27	27	27	27	27	518
28	28	28	29	28	28	28	28	28	28	490
26	26	26	26	26	26	27	26	26	26	464
27	26	27	27	27	27	27	27	27	27	437
13	13	13	13	13	13	13	13	14	13	424
13	14	13	13	13	13	13	13	14	13	411
14	14	14	14	14	14	14	14	15	14	398
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	384
12	11	11	11	11	11	11	11	12	11	373
10	10	9	10	10	10	10	10	11	10	363
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	354
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	449
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	325
16	16	16	16	16	16	15	16	16	16	309
17	17	17	17	17	17	16	16	17	17	292
17	16	16	16	16	17	17	17	16	16	276
17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	260
14	14	14	14	14	14	14	14	13	14	246
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	233
11	11	11			11	11	11	11	11	222
9	9				9	8	9		9	213
10	10				10	10	10		10	203
11	11				11	11	11		11	192
10	9				9	9	9		9	183
11	11				11	11			11	172
9	9					9			9	163
9	11								10	153
10	8								9	144
11	11								11	133
11	11								11	122

表12-シングルゾーンに応じた表 2-10 の太字で示した標高差.

表12の11番目の列に表示されている標高の値にいく つかの影響を与えていたかもしれないという印象を払 拭するために,必要と考えられた.第3回調査と同様 に,Pro版のGoogle Earthで提供された衛星画像の観 測から開始し,サルデーニャ島は後期中新世以降安定 していると考えられているため(Patacca et al., 1990; Gueguen et al., 1998),適切な地域として選 定された. Mortari (2017)は,表1に示すように,標 高が233mまでのラティウム島の海岸線と共通する 347mまでの同じ島の海岸線をすでに認めている.そ のため,今回の調査では,この海抜から調査を行っ た.観測結果は表13にまとめられ,ここでも斜体で 書かれた標高は二次的な海水準停滞地形を示してい る.

この調査で調査された地形を説明するために, Google Earthを使って撮影された画像の中に視覚的な 線の傾きが非常に低いものがある.図4~6は,標高 823m,560m,347mの海水準停滞地形の侵食が確認 できる稜線断面図である.

図4のように、尾根の水没部が水平に非常に近い場 合が多く、海岸線付近に非常に浅い鞍部があることが 観察され、尾根の遠位部が同じ海水準停滞地形の標高 であることが想定される.疑問のあるケースでは、遠 位部は823mで頂点に達するが、鞍部の最低標高は 821mである.おそらくこのような特殊な地形は、浮 遊物をもって海岸に沿って移動する水と関連してお り、海の侵食作用を強調しているのではないだろう か.

図5と図6は,海岸線の位置を勾配の正味の変化の 断面を示したものである。海岸線の標高は,可能であ れば現在の海面線で示している。

表13に示された83の高さのうち70の高さは,一次 水準停滞地形を指している.この70の値を表12の値 と比較すると,47のケースで一致しているが,12で は+1mの差があり,10では-1mの差があり,+2mの 差があるのはひとつだけである.これはサルデーニャ 島で以前に行われた調査結果と一致し,Mortari (2017)ですでに議論されている.

#### 第5回調査

第5回目の調査は、第4回目と同様の目的で、スペイン東部と南部の地域を対象に実施された。実際には、一般的に安定していると考えられているのは、39度線より上の東側部分のみである。Lopez Fernandez et

表13-サルデーニャ島で見つかった海岸線に属する 点の地理座標.

E	Lat.	Long.	E	Lat.	Long.	E	Lat.	Long.
823	40°10'56.88"	8°35'37.30"	603	40°03'59.33"	9°02'38.77"	397	40°42'36.79"	8°50'41.27"
821	40°02'42.94"	9°06'13.57"	574	39°13'08.53"	8°42'08.19"	385	40°17'26.00"	9°37'20.60"
821	40°06'57.94"	9°36'10.13"	574	39°54'01.86"	9°03'58.18"	384	39°39'35.14"	8°30'47.59"
808	39°47'11.83"	9°24'44.44"	573	39°23'50.96"	8°30'48.83"	373	39°15'09.35"	8°39'31.39"
792	39°48'00.05"	9°25'12.61"	560	39°54'01.63"	9°03'54.32"	373	40°19'32.24"	8°28'48.45"
792	39°48'20.53"	9°23'45.17"	545	39°23'08.41"	8°30'38.54"	365	40°18'15.07"	9°34'33.00"
781	40°12'30.26"	9°33'57.63"	545	39°23'38.06"	8°30'36.23"	363	39°15'29.652	9°20'34.15"
779	40°13'27.14"	9°34'56.23"	545	40°18'41.16"	9°35'43.62"	354	39°56'40.88"	8°50'51.36"
769	40°34'59.30"	9°06'49.77"	518	39°56'41.15"	8°48'36.44"	347	39°28'25.18"	8°24'22.29"
746	39°15'33.19"	9°23'47.07"	505	39°22'04.50"	8°30'01.58"	339	39°12'13.12"	8°41'34.81"
746	39°44'20.30"	9°17'49.99"	490	39°27'59.99"	8°24'50.78"	332	39°11'52.62"	8°31'11.01''
746	40°40'17.03"	9°31'38.46"	490	40°49'19.29"	8°42'59.86"	325	40°17'58.81"	9°37'59.28"
735	39°46'15.52"	9°23'08.57-	477	39°28'02.10"	8°24'50.57"	310	40°02'23.47"	9°36'19.85"
725	40°32'39.23"	8°59'52.67"	465	40°10'16.50"	9°38'06.63"	293	40°07'53.53"	9°37'58.35"
724	39°15'23.65"	9°23'20.79"	464	40°05'24.35"	9°39'12.58"	293	40°08'06.58"9	°37'51.82"
724	39°43'12.14"	9°28'47.07"	464	40°08'27.00"	9°38'51.78"	292	39°11'11.93"	8°32'49.20"
703	39°43'43.26"	9°18'59.06"	464	40°10'16.49"	9°38'06.78"	292	39°11'33.29"	8°30'49.87"
703	39°43'48.95"	9°19'51.62"	464	40°22'32.02"	9°39'09.35"	284	39°11'12.91"	8°32'39.75"
703	39°47'11.83"	9°23'10.76"	451	39°25'06.68"	9°24'09.59"	284	40°01'21.51"	9°41'44.84"
703	40°30'36.98"	8°58'41.18"	451	40°17'23.15"	9°37'04.39"	276	39°11'09.85"	8°32'03.57"
703	40°36'32.57"	9°07'57.72"	438	40°12'20.20"	8°34'40.57"	276	39°27'47.10"	8°28'08.51"
693	40°11'03.75"	9°36'11.70"	424	40°03'53.43"	9°30'54.27"	276	39°28'07.00"	8°25'31.38"
685	39°56'13.07"	9°05'15.14"	412	40°07'03.36"	9°39'49.16"	276	40°13'49.84-	9°36'34.89"
683	40°06'33.20"	9°37'18.74"	411	40°11'10.32"	9°37'26.71"	259	40°12'41.15"	9°36'13.16"
667	39°55'21.81"	9°04'52.60"	411	40°17'58.12"	9°36'20.66"	246	39°32'44.57"	8°37'06.41"
634	40°11'35.73"	9°36'23.72"	410	36°28'15.26"	8°24'23.46"	245	39°27'27.82"	8°28'03.33"
604	40°42'18.22"	8°45'48.04"	410	40°28'13.40"	8°49'13.16"	233	39°25'10.74"	8°29'02.49"
603	39°19'10.97"	9°21'34.91"	397	40°09'44.96"	9°37'51.75"			



図4-サルデーニャ島. 833 mにある海水準停滞地 形によって生成された形態.



図5-サルデーニャ島. 560mにある海水準停滞地 形による斜面の変化.



図6-サルデーニャ島. 現在の海抜347mでの斜面の 変化.

al. (2018) は、彼らの図1で、北緯42度から38度の間 のスペインの中央細長い部分を特徴づける地震の発生 が、ポルトガル、スペイン北部、そして何よりもアル ガルベ、コルディリエラ・ベティカ、シエラモレナを 含むイベリア半島の南側の地帯と比較して非常に低い ことを示した.後者の領域は、ユーラシアプレートと アフリカプレートの境界が近いことに影響を受けてい る.Koulali et al. (2011) は、この地域がアフリカプ レートに向かって年間約5mmの変位の影響を受けて いることを示しているが、局所的には年間1mmの オーダーの垂直方向の動きもある.しかし、この最後 のケースでは、これらの垂直方向の動きが累積的であ るかどうかを明らかにする必要が残っている:実際に は,長期的にその効果を打ち消すために,それらが反 対の符号と交互になることで十分であろう.

このようなスペイン東部と南部の特徴の違いを考慮 して,北緯39度以北のデータと南部のデータを保守的 に分離した;したがって,表14では前者が太字で表示 されている;第二次停滞地形を示す標高は,表13で 行ったようにイタリック体で表示されている.

前回の調査と同様に,ここでも図7-9により,察されている地形についていくつかの画像が示されている;それらは,それぞれ標高822m,808m,634mの海岸線を指している。図7は広く段々になった地形を示しており,海岸線が広がっていて,他の図では多かれ少なかれ丸みを帯びた尾根が示されているが,海岸線は必然的に斜面の変化が起こった表面の非常に短い断面にあることがわかる.

このように、表14では北緯39度以北と南の地域

#### 表14

E	Lat.	Long.	F	Lat.	Lona.	F	Lat.	Lona
822	36°37'57.94"	5°15'09.01"	604	37°27'36.60"	1°57'54.85"	368	36°35'25.57"	5°14'21.34"
822	40°51'19.13"	0°04'39.22"	603	37°29'04.73"	1°56'42.23"	368	36°36'47.68"	5°12'46.90"
822	41°15'09.09"	1°05'24.00"	603	39°45'29.99"	0°41'35.00"	368	41°13'38.79"	1°07'40.19"
822	41°20'10.22"	1°28'08.32"	589	36°37'13.96"	5°14'23.00"	364	36°36'40.44"	5°12'31.18"
808	37°28'15.29"	1°49'58.57"	589	37°28'23.52"	1°57'19.18"	364	36°36'48.59"	5°12'38.74"
808	40°53'12.73"	0°09'10.40"	589	41°35'32.94"	1°46'05.04"	363	36°33'15.56"	4°49'07.95"
808	40°53'14.31"	0°08'52.20"	588	36°36'01.85"	5°14'48.85"	354	41°05'00.58"	0°32'27.15"
808	41°29'38.34"	1°31'22.38"	575	37°27'46.24"	1°58'13.41"	354	41°21'24.54"	1°10'02.04"
793	39°48'13.01"	0°33'15.16"	575	39°45'29.69"	0°41'01.35"	347	36°33'18.48"	5°15'26.44"
769	37°52'28.26"	1°52'43.91"	574	41°27'52.61"	1°36'26.53"	347	36°35'04.02"	5°14'26.13"
769	40°12'49.49"	0°14'46.84"	574	41°27'70.13"	1°36'02.20"	347	36°36'48.88"	5°12'57.65"
769	41°40'05.47	1°37'22.53"	545	36°31'51.59"	5°16'52.96"	347	41°04'28.63"	0°31'49.85"
746	41°27'13.60"	1°36'13.61"	545	36°33'03.25"	5°16'18.69"	347	41°04'31.87"	0°31'50.18"
746	41°40'40.35"	1°37'22.20"	532	36°32'07.51"	5°16'23.05"	339	41°04'34.10"	0°32'05.29"
-35	39°46'26.41"	0°32'38.77"	531	41°19'05.44"	1°29'02.84"	332	36°34'17.95"	5°14'37.74"
724	41°21'21.14"	1°28'49.62"	531	41°31'08.93"	1°35'52.61"	326	36°32'28.91"	4°48'41.28"
724	41°42'01.45"	1°35'43.00"	518	36°32'57.53"	5°16'05.38''	317	36°34'34.05"	5°14'31.18"
704	37°29'45.91"	1°56'36.27"	504	36°32'27.08"	5°06'27.95"	310	41°04'47.26"	0°32'15.94"
703	37°29'45.84"	1°56'27.31"	504	36°32'57.50"	5°16'01.61"	309	36°34'55.80"	5°14'43.03"
703	41°25'42.95"	1°33'57.32"	504	36°33'41.98"	5°15'40.15"	309	36°35'42.58"	5°14'03.53"
694	41'26'31.77"	1°34'21.53"	490	36°32'58.81"	5°15'58.36"	300	36°34'34.63"	5°14'48.40"
694	41°26'22.88"	1°34'03.50"	490	36°33'31.60"	5°15'31.83"	293	36°33'59.03"	5°14'33.75''
693	41'39'23.73"	1°37'1 <b>9.57</b> "	490	36°35'21.11"	5°13'34.47"	292	36°34'33.05"	5°14'46.69"
664	36°49'36.42"	4°55'12.72"	464	36°30'52.31"	5°15'14.80"	292	41°05'06.99"	0°32'18.34"
684	40°28'04.82"	0°05'54.35"	464	41°14'48.12"	1°07'56.36"	264	36°34'57.30"	5°14'34.52"
684	41°20'02.13"	1°28'22.11"	437	36°33'56.61"	4°50'05.91"	284	36°35'01.73"	5°14'33.45"
683	41°30'45.4T	1°34'48.52"	424	36°33'10.38"	4°49'47.46"	276	36°31'37.80"	5°15'41.76"
667	40°10'25.40"	0°13'48.24"	417	38°42'30.58"	0°05'01.88"	276	36°33'44.49"	5°14'42.88"
666	37'29'46.23"	1°54'39.58"	411	36°31'02.41"	5°15'12.84"	268	36°33'58.27"	5°14'38.69"
666	41°25'04.67"	1°32'15.37"	411	36°33'34.48"	5°14'13.00"	268	36°29'14.48"	5°05'51.10"
650	36°31'54.46"	5°07'43.07"	410	36°34'15.51"	5°15'12.44"	260	36°29'06.72"	5°05'46.32"
635	37°29'28.83"	1°54'40.17"	397	41°21'06.44"	1°09'56.46"	260	36°29'30.06"	5°07'23.46"
634	36°37'18.41"	5°14'34.44"	396	36°36'01.28"	4°56'51.63"	260	36°27'12.38"	5°11'01.13"
634	36°51'16.83"	4°50'13.29"	396	40°06'08.17"	0°01'28.26"	253	36°33'00.16"	4°04'01.81"
634	40°11'27.88"	0°13'59.85"	391	41°21'07.79"	1°09'59.88"	253	36°28'53.82"	5°05'51.10"
634	41'30'34.71"	1°36'36.57"	390	36°34'06.71"	5°14'21.36"	246	36°25'13.12"	5°14'13.12"
619	37'27'36.39"	1°58'04.34"	384	36°32'54.05"	4°56'40.96"	239	36°30'19.81"	5°05'40.02"
619	41°19'10.92"	1°26'36.74"	374	36°32'28.59"	5°16'05.21"	239	36°30'12.70"	5°05'41.51"
618	36°37'42.79"	5°14'17.23"	373	41°15'35.97"	1°09'09.85"	233	36'26'57.75"	5°12'46.49"
618	41°30'43.42"	1°33'03.17"				347		

で、一次水準停滞地形の標高の値に重要な差は見られ ないことがわかる.私たちは、累積的な鉛直方向の動 きがなく、主に水平方向に発生する変形が存在するこ とで、この状況を解釈することができる.そのため、 スペインもサルデーニャ島と同様に、2つのプレート の往復運動の境界に近い場所でも高度的には安定して いるようである.

最後に、この最後の表で表された標高と表12の理



図7-スペイン.現在の海水準の上822mの海岸線の 段丘地形.



図8-スペイン.現在の海水準の上808mでの斜面変化.



図9-スペイン.海水準停滞地形による634mでの 斜面途中での変化.

想的なシーケンスの標高を比較してみると、それらが 非常によく一致していることに気づき、それは調査対 象となったスペインの全ての地域が高度的に安定して いることを示唆している.

#### GTTのタイミングの見直し

Mortari (2010, 2017)では、標高347mと73mの段 丘は二次的なものとして認識されていたのに**対**し、 Mortari (2010, 2017) では一次的なものとして認識し たことから、これまでに決定されていた大ティレニア 海進 (GTT) の開始時期が変更された. これを機に, 今回のGTT研究の基礎となっている「2,500年周期」 の期間の値をより明確にすることで、改訂作業を完了 させることが適切であると考えられた。この周期は、 41Kaの周期と密接に関係していることがわかった。 そしてそれは、地球の軸の傾きの変化だけでなく、図 2の連続曲線の振動的で周期的な傾向も制御している; これらのサイクルのそれぞれの間に16から17のマイ ナーなサイクルが行われ、それぞれは約2,500年続い たろう。2,500年周期は気候変動の基本的な周期であ り、例えば山岳氷河の撤退と膨張を調節している (Denton and Porter, 1970) が, 同位体酸素層序では 興味深い、そしてそれは、Emiliani (1955) による と、41Kaの3倍の周期、すなわち海洋同位体ステージ MIS 1とMIS 5の間に見られるように約123Kaの周期 をもつサイクルが出現する。これらの頂点は、特定の 海水準の位置に対応している:最初のものは,その年 代が約4,800年 (Mortari, 2010, 2017) である7mの 第三次水準停滞地形に対応するが、2番目のものは 59m a.s.l. で二次水準停滞地形に対応していて、より 大きな詳細 (Mortari, 2010) のこのケースでは可能性 がない

絶対的な年代値により,59m a.s.l.の水準停滞地形 の年代を知ることができる.127Ka (Bonadonna and Bigazzi,1970)の年代値は、ローマの25km北西 にあるサバティーノ火山 (Mortari, 2010)の南斜面に あるこの高度の海岸線に接続された火山凝灰岩で得ら れたが、サンゴの年代測定では次のようになった:バ ルバドス島では127 Ka (Matthews,1973)と129.2Ka (Edwards et al., 1987)、ペロポネソス島の北方では 118と,128,129Ka (Stamatopulos et al., 1988)で ある.したがって、これらの値の平均値を128Kaとす ると (同じ場所で得られた他の2つの値と大きく乖離し ていると思われる118Kaは考慮しない)、問題のスー パーサイクルは128-4.8=123kaであることが確認され た.

41Kaの周期は約2,500年分の16または17の周期を 含んでいるので一定ではないが、123 Kaのスーパーサ イクルごとに49のマイナーサイクルが一定数含まれているようだ。後に正当化されるように、平均的な準周期41Kaと2,500年の期間との関係は16.33である。この同じ比率は、大循環のも続時間の間にも存在すると

表 15

Р	R	R'	Ρ'
41 Ka	16.3316.	33	41,29 a
2,51 Ka	15.9	16	2528 a
158 a	15.05	15	158.0 a
10.5 a	20.94	21	10.53 a
0.5016 a	17.1	17	0.5016 a
10.7 d	16.05	16	10.78 d
16 h	15.7015.	75	16.17 h
61.1'	15.2415.	25	1.026 h
4.01'	16.05	16	4.038'
15"	15	15	15.14"
1"			

考えられ,その結果,約0.67,11,179と2,900Maの 準周期をもつことになる;これらは,氷河,地質年代 の単位長,海水準の大きな変動,磁気反転,鉱物化, 原始的な危機に影響を与えているように思われる (Mortari, 2010).

2500年未満の周期では、表15に示すように、比率 は16.33と異なるだけでなく、互いに異なっている. 第1カラムでは、41Kaサイクルの値も考慮した. 2,500年未満の周期は、主に潮位観測所の記録に見ら れる. TOPEX/ポセイドンミッションやジェイソン ミッションによる衛星高度計計測では、約6ヶ月間の 周期が検出された (Nerem et al., 2010); その準周期 はバルト海の潮位計の記録を参照して特定された。こ こでは、前世紀の80年代には11月と5月の2つのピー クがあり、季節的な影響では8月にもピークがあった ことがわかる; 50年代と60年代には10月と4月の値 が優勢で、同じ世紀の最初の20年間には8月と2月の 両方にいくつかの最大値がある。全体的には、約25年 に1ヶ月の遅れがあり、これは1年に1.2日に相当し、 したがって6ヶ月周期は実際には平均0.5016年である (Mortari, 2010) . この準周期は、私たちが検討し ている中で最も精度が高く、4つの重要な数字で表現 されている唯一のものである.

表15の4つの列には以下のものがある: 1)取得された時点での期間(ただし,ほぼすべてが準期間)Pの値;2)Pの各値と以下の間のR比;3)最も可能性の高い実数のR'比;4)期間P'の修正値.3つのケースでは小数は非常に単純な分数(1/3,3/4,1/4)に近い値をもっていますが,Rの値は一般的に整数に非常に近い

ことが観察される.

すべてのPの値に対して非常に正確な規則が存在す るようにみえる:各単一サイクルのも続時間はすぐ下 のサイクルの平均も続時間の整数倍である.したがっ て,R'の値は,16.33が16,16と17の組み合わせから 派生しているように整数の平均であるように見える; この仮説に基づいて,第3列(R')に修正されている. この仮説を信じて,0.5016年の値を起点に,他のす べての値を再計算し,新しい値を4列目に表示してい る(P').

これらの新しいP'の値の結果として,より正確には 41,292年の3倍または123,900年であるはずの 「123Kaスーパーサイクル」が,これからは「124Ka スーパーサイクル」と呼ばれるようになる.

「2,500年周期」の期間は, 唯一一定の期間である 可能性がある (Mortari, 2010). そのため, GTTのタ イミングの再構成には2,528年という値を使うことに する.

#### 大ティレニア海進

GTTの概要を構築するためには、これまでに得られ た新しいデータを用いて図2を更新することが有効で ある.図10は、表12の822mから122mの間で、標高 差  $\delta$  がどのように連続して現れるかを示している.こ れらの標高には、フレームの下に表1にある122~ 64mの値が加えられ、端にはMortari (2010)から取 得した275mと-82mの値が加えられている:275mの テラスはGTTの進入期に起因する唯一の主要な静止点 を表し、-82mの水準停滞地形は推定されているが、 ミラツィア海進に先行した氷河期の最盛期に対応して いる (Mortari, 2017).822-275=547 m、64-(-82)=146mの  $\delta$ の値を表す点は縮尺外のため表示して いない.

図10では、サイクルA、B、Cからなる124Kaのスー パーサイクル全体を表し、17+16+16+16=49個の水 準停滞地形を表している;これは、リスアルプス氷河 の最後の寒冷な最盛期の直後に行われ、その間に海水 準は現在のレベルに対して約-200mの標高に達し、ま た上述のように、最低海水準が-82mと推定されてい るヴュルミア氷河の最初のエピソードのピークを含ん でいる.

図1と本図の主な違いは、調査した各地域に影響を 与えた隆起を除外していることを指摘したい.

次の124 Kaスーパーサイクルは,海水準の大きな振動を特徴としており,Mortari (2010) に記述され,



図10-横軸には、時間の関数として表10と1から得られた海水準停滞地形の標高がある。縦軸には、 海面高度の関連する差分デルタがある。A, BとC

Mortari (2017) に再現された. その再構成は, 多数の 海水準の指標と洞穴内生成物で多くの年代の助けに よって行われ, 最後の氷河期の最大温度低下に達した -115mの水準停滞地形の終わりで終了した. GTT全体 を再現した図11では, 最後の氷河期に41Ka (G)の 新しいサイクルと124Kaの第3のスーパーサイクルが 始まったように見える.

海進の開始時期については,以前に示されていた 275 Ka (Mortari, 2010, 2017)ではなく,270.5 Ka 前に発生しており,海進の最盛期は約2500年後と なっている.

GTTの開始により後期更新世が始まったと考えるこ とができ、その結果はティレニア時代を正確に定義す ることができる。Mortari (2010) によると中期更新世 も同様に約670Ka前から始まっていて、例えば940Ka 前のシチリア階に対応し、同様に、初期更新世、つま りカラブリア階は約1610Kaに始まった。



図11-大ティレニア海進のグラフ. 海水準停滞地形 の高度は前回の図4とMortarri (2017)の図8を参考 にしている. A-B-C と D-E-F は 124 Ka のスー パーサイクルである.

Mortari (2010)の図2.36またはMortari (2017)の 図10でわかるように、2,528年の最後の周期は、それ までの周期の延長線上に同じようなものがある.これ は、現在のサイクルが終わりに近づいていることを意 味しており、いくつかの段階で海水準が下がることで それ自体が現れ (Mortari, 1997, 2005a, 2010)、すべ ての第一次海水準停滞地形の最後に起こった別の現象 は、最近の堆積が発生したそれらの領域の急激な沈降 であった;この史実は、過去1万5千年の間に堆積し た最近の細粒堆積物が急速に固まったためである (Mortari 1997, 2005b, 2010);この瞬間の数値の変 化は、当初2,510年とされていた検討中のサイクルの 長さとして、規定されるようになってきた.

現在のサイクルが始まったとき,スペインのタル テッソ,イタリアのヴェリアとシバリスのようにいく つかの都市が埋まっていたが,これらの都市は,例え ば今日のように大河の河口で見られるような細粒で非 常に厚い土壌の上に,最近の建設された.テベレ川の 谷間に建設されたローマは,この現象に苦しんだ (Mortari, 2005c).

最も正確な表示は、古代ギリシャのシバリスの植民 地に関するものである; ヘロドトスの報告による と、シバリスは、別のギリシャの植民地クロトーネの 住民がそのコースを迂回させた後、クラティ川の洪水 によって埋葬されたという.都市が建設された土地 は、確かに紀元前510年に放棄されていた (ローマ大 学ラ・サピエンツァ校でギリシャ史を教えていたドメ ニコ・ムスティ教授の私信).実際には、単に洪水で 覆われたのではなく、短時間で約5m下がった (Mortari, 1997, 2010).

2,528年のサイクルの終わりは、より低い次のサイ クルの終わりと一致するはずであり、約10.5年のすぐ に短いサイクルは、太陽活動の最大値または最小値に 対応して終了するので(Mortari, 2010),我々が探 している瞬間は2019年に予想される次の太陽最小値 と一致しなければならない。

#### 造山断層

第2回調査で定義された8つのゾーンと第3回調査で 区切られたゾーンの境界は、異なる時間と速度で隆起 した他のゾーンとの限界であるため、断層面の露頭と なっている.適切な条件の下では、連山の隆起に連動 した断層が現在も活動しているかどうかを評価するこ とができる.最西端の2つの地域、TとMを隔てる断 層は確実に活動していないので、最も低い標高の測定 値は表1にも示されているように安定した地域に属し ている.他の断層がどのように振る舞っているかをす ぐに理解できるように、図12では8つのゾーンのうち 6つのゾーンを含む表2-4,6,8-9から得られた累積的 な動きを時間の関数として表現している.このよう に、図で考慮された最西端の4つのゾーン(T,M,S, P)は、70-90Kaの間上昇した後、その動きを停止し たことがわかるが、逆にVとGゾーンは年間約7mmで 計算できる速度で継続している.この値は、ベトレ山 (Galadini and Galli,2000)も含むウンブリアとア ブルッツォ地区の後期更新世と現世の一部の地域に適 用された地形学的基準で推定された年間0.6-0.8mmの 10倍以上である.

1972年の最初の調査地域は、今回の調査地域とは 別のもので、より内陸部に向かって変位しているが、 その隆起の終わりがCゾーンとMゾーンの間にあった ことに注目され興味深い;表1,2,3から確認できる ように、海が233mの高さまで下がったときに隆起は 止まったので、この時点からすべての海抜が表1の海 抜と一致しているのに対し、CとMゾーンは海水準ま で隆起して、現在の海抜の247と183mのそれぞれの その水準停滞地形をつくった.

ここで研究されている地域と共通している大きな領 域であるアペニン山脈の中央部と北部-中央部 (Calamita and Pizzi, 1993; Calamita et al., 2000; Vittori et al., 1997; Vittori et al., 2000) またはほん の一部 (Cello et al., 1997), または近接地域 (Demangeot, 1965, Valensise and Pantosti, 2001, Papanikolau et al., 2005) の造山断層の地図を観察す ると, ここで記録されているものに比べて, 断層の頻



図12-第 2 回調査の 8 つのゾーンのうち 6 つの ゾーンの隆起速度 (標高/時間).

度が少なく、広がっていて、一般的にはアペニン山脈 と平行な方向を向いていることが注目できる。いくつ かの地域では、断層も同様に活動的であると考えられ ることが観察できるが、もはやそうではない。

また第3回調査では、文献に記載されている断層と の間に格差が見られることが分かった.これらのレ リーフの南西側には共通の断層があり、この断層に 沿って隆起が行われてきたことを評価するには、断層 付近のアニエン川の地形を示した図13が有効である.

ペレッチア山の海岸線で行われた測定の結果,この 地域では1084-822=262mの隆起があったという結論 に達した.

ここで提案されているようなより完全なマッピング の重要性は、地震の予測を目的とした実用的な応用 と、アペニン山脈の形成を説明する一般的に採用され ているモデルを検証するのに役立つ理論的な側面の両 方において、疑いの余地がない.



図13-チボリの滝の前後のアニエン川の流れのプ ロファイル.破線は標高差の原因となった正断層 の位置を示している.

#### 結論

Mortari (2017) では,標高 347 m までのサルデー ニャ島で記録されたティレニア海進が記述された (Mortari, 1972).以前には,最大標高1,049mまでの 中央ラティウムで初めて同じ海進が認められたが,隆 起の影響を受けていた.この論文に記載されている調 査では,非永続的な成分を分離し,現在の海抜822m に達した海進の全体の純値を提供することが可能で あった.

この値は、サルデーニャ島とスペインで行われた2 つの調査で確認されており、2つの地域の高度安定性 のために、発見された標高の補正は必要なかった.ま た、2つのより短い水準停滞地形を取り除くことによ り、GTTが始まった瞬間を特定し、その開始時期をよ り正確なものにした、それは270Ka前である.後期更 新世の開始時期をその時期と一致させることが提案さ れた. この研究の結果は、アペニン山脈の断層の露頭を追 跡することが可能となり、そのうちのいくつかは現在 も活動しているが、またここで計算された実際の隆起 速度は、他の方法で決定されたものよりもはるかに大 きいことを考慮して、より効果的な地震予知研究を設 定することができる。

#### 文献

- Accordi, B. and Maccagno, A.M., 1962. Researches in the Pleistocene of Riano (Rome). Geol. Romana, v. 1, p. 25-32. Blanc, A.C., 1957. On the Pleistocene sequence of Rome. Paleoecologic and archeologic correlations. Quaternaria, v. 4, p. 95-109.
- Bonadonna, F.P. and Bigazzi, G., 1969. Studi sul Pleistocene del Lazio VII. Età di un livello tufaceo del bacino diatomitico di Riano stabilita con il metodo delle tracce di fissione. Boll. Soc. Geol. It., v. 88, p. 439-444.
- Bonadonna, F.P. and Bigazzi, G., 1970. Studi sul Pleistocene del Lazio VIII: datazioni di tufi intertirreniani della zona di Cerveteri (Roma) mediante il metodo delle tracce di fissione. Boll. Soc. Geol. It., v. 89, p. 463-473.
- Broecker, W.S., Thurber, D.L., Goddard, J., Ku, T.I, Matthews, R.K. and Mesolella, K.J., 1968. Milankovitch hypothesis supported by precise dating of coral reefs and deep-sea sediments. Science, v. 159, p. 297-300.
- Calamita, F. and Pizzi, A., 1992. Tettonica quaternaria nella dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati. Studi Geol. Camerti, v. 1, p. 17-25.
- Calamita, F., Coltorti, M., Piccinini, D., Pierantoni, P.P., Pizzi, A., Ripepe, M., Scisciani, V. and Turco, E., 2000. Quater- nary faults and seismicity in the Umbro-Marchean Apennines (Central Italy): evidence from the 1997 Colfiorito earth- quake. J. Geodynamics, v. 29, p. 245-264.
- Cello, G., Mazzoli, S., Tondi, E. and Turco, E., 1997. Active tectonics in the Central Apennines and possible implications for seismic hazard analysis in peninsular Italy. Tectonophysics, v. 272, no. 1, p. 43-68.
- Chappell, J. and Shackleton, N.J., 1986. Oxygen isotopes and sea levels. Nature, v. 324, p. 137-140.
- Demangeot, J., 1965. Géomorphologie des Abruzzes adriatiques. Mémoires et Documents, CNRS, Paris, pp. 403.
- Denton G.H. and Porter S.C., 1970. Neoglaciation. Sci. Am., v. 222, no.6, p.100-111.
- Edwards, R.L., Chen, J.H., Ku, T.L. and Wasserburg, G.J., 1987. Precise timing of the last interglacial period from mass spectrometric determination of thorium-230 in corals. Science, v. 236, p. 1547-1553.
- Emiliani, C., 1955. Pleistocene temperatures. J. Geol. v. 63, p. 538-578.

Follieri, M., 1959. Elementi originali per la storia della vegetazione del Lazio. N. Giorn. Botan. It., v. 66, no. 4, p. 707-708.

- Galadini, F. and Galli, P., 2000. Active tectonics in the central Apennines (Italy) Input data for seismic hazard assessment. Nat. Hazard, v. 22, p. 225-270.
- Gueguen, E., Doglioni, C. and Fernandez, M.,1998. On the post-25 Ma geodynamic evolution of the western Mediterranean. Tectonophysics, v. 298, p. 259-269.

Koulali A., Ouazar D., Tahayt A., King R.W., Vernant P.,

Reilinger R.E., McClusky S., Mourabit T., Davila J.M. and Amraoui N., 2011. New GPS constraints on active deformation along the Africa-Iberia plate boundary. Earth Plan. Sc. Lett., v. 308, p. 211-217.

- Lopez Fernandez, C., Fernandez Viejo G., Olona J. and Llana Funez S., 2018. Intraplate seismicity in northwest Iberia along the trace of the Ventaniella Fault: A Case for fault intersection at depth. Bull. Seismol. Soc. America, v. 108, no. 2, p. 604-618.
- Matthews, R.K., 1973. Relative elevation of late Pleistocene high sea level stands: Barbados uplift rates and their implications. Quatern. Res., v. 3, no. 1, p. 147-153.
- Mesolella, K.J., Matthews, R.K., Broecker, W.S. and Thurber, D.L., 1969. The astronomical theory of climatic change: Barbados data. J. Geol., v. 77, no. 3, p. 250-274.
- Mortari, R., 1972. Alti livelli del Mare del Pleistocene superiore nel Mediterraneo centro-settentrionale. Ann. Geofísica, v. 25, p. 75-97.
- Mortari, R., 1987. Sollevamenti recenti dell'Umbria. Roma, pp. 28.
- Mortari, R., 1997. The discontinuous subsidence of postglacial sediments. A really imminent danger. In: Marinos, P.G., Koukis, G.C., Tsiambaos, G.C. and Stournaras, G.C., 1997. Proc. Int. Symp. IAEG on Engineering Geology and the Environment. Athens. Balkema, Rotterdam, p. 869-874.
- Mortari, R., 2005a. I terrazzi della bassa valle del Tevere.
  Boll. Soc. Geogr. It., s. 12, v. 10, p. 577-595.
  Mortari, R., 2005b.A new reconstruction of recent sea level changes. A reference for a correct appraisal of subsidence in coastal areas. Atti III Congr. Naz. AIAR, Bressanone 2004, Patron, Bologna, p. 433-444.
- Mortari, R., 2005c. Subsidence in the ancient city of Rome. Atti III Congr. Naz. AIAR, Bressanone 2004, Patron, Bologna, p. 445-453.
- Mortari, R., 2010. I ritmi segreti dell'Universo. Aracne Ed., Roma, 336 pp.
- Mortari, R., 2017. Sea level changes and altimetric stability in the Central Mediterranean during the Late Pleistocene, with reference to Sardinia: Discrepancy between field data and current global sea level curves. NCGT Journal, v. 5, no. 4, p. 549-576.
- Nerem, R.S., Chambers, D.P., Choe, C. and Mitchum, G.T., 2010. Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions. Marine Geol., v. 33, no. 1, p. 435-446.
- Papanikolaou, I.D., Roberts, G.P. and Michetti, A.M., 2005. Fault scarps and deformation rates in Lazio–Abruzzo, Cen- tral Italy: Comparison between geological fault slip-rate and GPS data. Tectonophysics, v. 408, p. 147-176.
- Patacca, E., Sartori, R. and Scandone, P., 1990. Tyrrhenian basin and Apenninic arcs; kinematic relations since late Torto- nian times. Mem. Soc. Geol. It., v. 45, p. 425-451.
- Stamatopulos, L., Voltaggio, M., Kontopulos, N., Cinque, A. and La Rocca, S., 1988. 230Th/238U dating of corals from Tyrrhenian marine deposits of Varda area (northwestern Peloponnesus), Greece. Geogr. Fis. Dinam. Quatern., v. 11, p. 99-103.
- Valensise, G. and Pantosti, D., 2001. The investigation of potential earthquake sources in peninsular Italy: A review. J. Seismol., v. 5, p. 287-306.
- Vittori, E., Maschio, L., Ferreli, L., Michetti, A.M. and Serva, L., 1997. Carta e base di dati delle faglie capaci per l'Italia centro-meridionale: presentazione e stato di avanzamento del progetto ITHACA. Il Quaternario, v. 10, p. 305-312.

Vittori, E., Deiana, G., Esposito, E., Ferreli, L., Marchegiani, L., Mastrolorenzo, G., Michetti, A.M., Porfido, S., Serva, L., Simonelli, A.L. and Tondi, E., 2000. Ground effects and surface faulting in the September- October 1997 Um- bria-Marche (Central Italy) seismic sequence. J. Geodynamics, v. 29, p. 535-564.

# New Madrid 断層帯域におけるハリケーン・ローラの影響 - RDFネットワークを通じた電磁気モニタリングの結果 - ラジオ指向性の確認とアーカンソー電気磁気モニタリングステーション

# EFFECTS OF HURRICANE LAURA ON THE NEW MADRID FAULT AREA - RESULTS OF ELECTROMAGNETIC MONITORING THROUGH THE RDF NETWORK - RADIO DIRECTION -FINDING AND ARKANSAS ELECTROMAGNETIC MONITORING STATION

Valentino Straser <sup>1</sup>, Daniele Cataldi <sup>2</sup>, Gabriele Cataldi <sup>3-4</sup>, Giampaolo Gioacchino Giuliani <sup>4</sup>, John Ricken Wright <sup>5</sup>

1. Department of Science and Environment UPKL, Brussels -

(valentino.straser@gmail.com).

2. Radio Emissions Project, Rome (Italy) - (daniele77c@gmail.com).

3. Radio Emissions Project, Rome (Italy) - (ltpaobserverproject@gmail.com).

4. Permanent Foundation G. Giuliani, L'Aquila (Italy) -

(giuliani.giampaolo4@gmail.com).

5. Emeritus Professor of Chemistry, Southeastern Oklahoma State University, Durant, Oklahoma, United States - (cotterobservatory403@gmail.com).

## (久保田喜裕 訳)

**要旨:** 著者らは、太陽活動(2011年以降)と地球磁場の底(2009年以降)を監視し、地殻の破壊現象に関連しそうな自然の電磁信号を探している.

この新しい科学的アプローチにより、イタリアにおいて、世界中で記録されている破壊的な地震活動の可能性 と自然の電波放射とを関連づけることが可能になった(G. Cataldi et al., 2013-2017; G. Cataldi et al., 2019; G. Cataldi, 2020; D. Cataldi et al., 2014; D. Cataldi et al., 2017; D. Cataldi et al., 2019-2020; Rabeh T. et al., 2014; V. Straser, 2011 -2012; Straser V. et al., 2014-2017; V. Straser, 2017; Straser V. et al., 2019-2020; F. Di Stefano et al., 2020). 2017年, 著者らは地震予測に特化したマルチーパラメトリックモニタリングの 最初の世界的なネットワークを構築した. それは, RDF (Radio Direction Finder)を介してSELF-LFバンド (>0-96kHz) 技術で, RF環境や地震イベントが発生する条件があるかどうか, リアルタイムで地殻状態 (the

crustal order) を診断ができる.

ローカルおよびグローバルな地震に特化したこの新しい科学的アプローチの最初の結果は,地震予測の分野で 非常に心強い結果を得ることができた (D. Cataldi et al., 2019-2020; Straser V. et al., 2018-2020; F. Di Stefano et al., 2020). このような状況で,多くの研究者は,予測不能の天候が発生する地域で,悪天候現象と地 震の誘因とが相関する可能性の有無に疑問をもっている.この研究では、多くの研究者が米国を襲ったハリケー ンローラの発達を考えたが、実際、2020年8月26~27日に勢力を増した.この研究では、多くの研究者が、 ニューマドリード断層 (250km SE) から遠くないアーカンソー州において、John Ricken Wright教授によって管 理された電気・地震センサーが記録した科学的データも活用した.このセンサーは、電波異常を受信・監視して いる米国の国際監視網に接続されている.このツールは、RDFネットワークの調査結果とともに、その研究に基 づいた研究者らに情報を提供した.

そのハリケーンは、米国南海岸に上陸し、メキシコ湾岸で60万人以上が避難した.このような出来事は、コロ ナ禍の最中に、米国で行われた最大の避難作戦となった.

その風速は241km/hに達し、地域全体とニューマドリッド断層付近(過去に非常に破壊的な地震を発生させた 地殻変動の活発な地域)に豪雨をもたらした.その事変では、さまざまな米国の州に大きな被害をもたらした.

# 仮説から地質理論へ FROM HYPOTHESIS TO GEOLOGICAL THEORY

### Vadim Gordienko

### (小泉 潔 訳)

近年,プレートテクトニクスが,ジェームズ・ハットンをはじめとする地質学者たちが200年前から夢見てきたような,包括的で真の地球規模の理論になっていないことが,ますます明らかになってきている.V.E.Khain

#### 地質学者は地球全体を必要とする。A.P. Karpinsky

#### はじめに

問題になっている科学技術を信じるさまざまな著者 は、それを事実上同一条件で特徴付けている。科学的 方法には次のようなものを含む [Wikidedia]:

1. 観察されるものについて厳密な懐疑論を適用して,注意深い観察は体験的仮定が観察の解釈方法を歪める可能性があると考える.

2. そのような観察結果に基づくと、仮説の形成に 帰納的な結論(仮説)を立てることを含んでいる.

3. 演繹的な実験と測定に基づく検定は仮説から導き出され,仮説の改良(または撤回)は実験的発見に 基づいている.実験の目的は,観察結果が仮説から導 き出された予測と一致するか,矛盾するかを判断する ことである.科学的な仮説は,仮説から導き出された 予測と矛盾する実験や観察の結果を確認することが可 能でなければならないことを意味している [Popper, 1959].

4. さらなる検定が予測とどの程度一致するかによっ ては、元の仮説を改良・変更・拡張あるいは棄却する 必要があるかもしれない。特定の仮説が非常によく支 もされるようになれば、一般的な理論に発展するかも しれない。

約40年前, V.V.Belousovは内生的メカニズムに関 する包括的な概念を開発した. これは, 大陸・海洋・ 遷移帯などの地球深部の地下(観測可能な場所)で起 こっている事象を簡潔な用語体系で説明する概念であ る [Belousov, 1975, 1978, 1982など]. この概念は, 20世紀に地質科学の蓄積された知識 (van Bemmelen · Yeardley · Cloos · Aubouin · Stille ど)を一般化し、さらに発展させたものであり、 Shatskyや Strakhovらにより導入された地質構造に関 する考え方を補完した。ほぼ同時期に、核やマントル の岩石の地球化学的性質・熱流異常・電気伝導率・地 震波速度 (重力場や磁場はそれ以前からかなり研究さ れていた) などのデータが急速に取得され, 惑星の内 部のエネルギー源や深部過程に必要なエネルギーの情 報が得られるようになった。これにより、エネルギー 保存則に従った構造発達史モデルを構築することが可 能になった.

#### 移流-多形仮説

筆者は,これらの観察結果・一般化・結論(科学的 方法の第1,2項)を用いて,これまで取り組んできた 移流-多形仮説(APH)を構築してきた[Gordienko, 1975, 1998, 2007, 2012; 2017など].

筆者は、それらの最初のものを適用する、これは、 内因性レジームのシステム (Belousovに加筆) と特定 のエネルギー源-移流によるエネルギー輸送をもつ地 殻と上部マントル岩石の中の放射性崩壊-に基づいて いる。移動する物質の基本的な体積は、"造構運動単 元"(QTA: Quanta of Tectonic Action) と呼ばれて きた. 多かれ少なかれ同期して上昇するQTA (直径約 50~70 km) が、活動過程にある地域の全領域の上に 大きなアステノリスを形成して合流している。そのよ うな物体の物理的現実が証明された。内因性レジーム の選択は、先行する熱モデルのタイプと関係してい た。温度が深度200km以深の広い範囲で固相線を超 えると、アセノスフェア内での対流や地向斜過程の発 生に適した状況になると考えられる。アセノスフェア が薄いと、リフティングに適した条件か、あるいは単 一の活性化エピソード (物質がリフティングの初期段 階のように動く) に適した条件になると考えられる. 前期始生代から我々の時代まで、どのような時代にお いても,熱と物質移動のパターンを数値的に立証し, 内因性レジームを選択し、非定常熱モデルを構築し、 岩石の物性分布の時間的変化を明らかにすることがで きる. それらのデータを用いて, 直接の問題に対処す るだけで、地質過程の兆候や物理場の異常を決定する ことができる。その結果は、観測で得られた結果と相 関し, 食い違いが観測誤差や計算誤差の大きさを超え ることはない。

造構圏の"熱機関"メカニズムを確かな証拠に基づ いて解析する.この仮説的メカニズムは、エネルギー 保存則の枠組みの中で、地史上の主要な出来事を定量 的に説明している.全てのいろいろな地域の地殻と上 部マントルにおける放射性元素起源の生成熱の全量は ほぼ同じであり、42±0.5mW/m<sup>2</sup>であることがわかっ ている.言い換えると、現在、地球のどの地点であっ ても、単位表面下には同量の熱が発生しているが、そ の熱源は、地殻が形成されていたり、別の種類の地殻 が形成されていたりして、不均質に分布している.

HF (熱流)の合成値は、地殻とマントルでの発熱の 結果としてだけでなく、APHによれば、42億年前の 固体温度から始まった造構圏の未だに続いている冷却 過程の結果としても決定される。上部マントルにおけ る現在の発熱量:卓状地-0.04、地向斜-0.06、海 -0.08 $\mu$ W/m<sup>3</sup>.卓状地下の地殻内における現在の放 射性元素の発熱量は 23 mW/m<sup>2</sup>、地向斜帯では 17.5mW/m<sup>2</sup>である。海洋下のエネルギー発生量は 3mW/m<sup>2</sup>である。

卓状地の地殻と上部マントルの全発熱量は,最近36 億年間で73.5・10<sup>14</sup>J/m<sup>2</sup>である.この間に熱伝導で 59.5・10<sup>14</sup> J/m<sup>2</sup>を運び出している.この差14・10<sup>14</sup>J/ m<sup>2</sup>は,活発な深部過程での熱と物質移動によって供 給されなければならない.

1地向斜サイクル (3回の熱と物質移動) には0.8・ 10<sup>14</sup> J/m<sup>2</sup>が必要である.この値は、リフティング (熱 -物質移動の3つの作用)の場合には0.6・10<sup>14</sup> J/m<sup>2</sup>程 度とやや低いことがわかった.これとほぼ同じ量のエ ネルギー (0.50~0.55・10<sup>14</sup> J/m<sup>2</sup>)が単発の活動過程 に必要とされている.

#### 仮説規制

これまで知られていなかった現象を,移流-多型仮 説を用いて予測することができる.

### 1. マントルのマグマだまりのパラメータ [Gordienko, 2017など]

活動過程を通じて熱と物質移動のパターンは,(顕 生代と先カンブリア時代を通じて)内生的状態のすべ てのケースが同じ深さでQTAが発生していることを示 唆している.それらは頂部へ上り詰める順番が異な る.過程の各段階における溶けたマグマの組成や熱



図1 岩石サンプル(約7万カ所の分析)採取場所と、大陸と海洋の最もよく研究されている地域のマントル中のマグマだまりの温度と深さの分布のヒストグラム.

流 (HF) を説明するためには,活動領域の下に最初に 出現したマグマだまりは,(QTA開始前の)深さ200~ 250kmの上部,その後160,100,40km,温度 1700,1550,1350,そして1,1500 (1,150か?訳者 註) ℃であった,と仮定する必要がある.また,マグ マだまりの上部の深さが地史的に不変であることを示 す結果は,APHの観点から見ても至極当然のことのよ うに思われる.これが,マントル内のマグマだまりの 深さや温度の安定性のこれまで知られていなかった現 象を予測する方法である.

現段階で,さまざまな地質学的・物理学的技法を用 いて,仮説的な設定を定量的に検証することができ る.この予測は,とくにマントルマグマだまりの位置 が予測可能であることを示しているが,これがマント ルマグマだまりの位置が予測可能であることと,固相 線レベルでのマントル岩石の部分融解の最低温度の可 能性が,多くの研究で想定されているよりもはるかに 低いという仮定と連動して,全地球の物質を裏付けて いる(図1).

上部マグマだまり頂部の深さが予測と異なってい る.上昇から500万年後の深さ40kmで,造構運動単 元現象で物質が冷える.T固相線 (1,200℃)の平均深 度は50~60kmである.しかし,深度約50~100km の範囲では,100~150 kmや150~200 km間の場合 のように,中間の深さのマグマだまりがないわけでは ない.これは,1)最上部物質が冷却されている間に, マグマだまり上部が水没したこと,2)マントル中に沈 み込んだ塩基性のエクロジャイトト化した地殻ブロッ クが溶解したこと,が影響していると考えられる.

また、マグマだまりの深度は、ゼノリス (60・ 100・160・210km) や地震不連続 (90・140・ 210km) のデータからも導き出すことができた [Gordienko, 2017など].

#### 2. 全地球のアセノスフェア

造構圏下の深さ(地殻・上部マントル・下部マント ルへの遷移帯)について計算を行ったところ,特異な 状況が明らかになった.深度約700~1,000kmの範囲 では、"マグマの海"が残したわずかな部分溶融の少 ない層が、全地史を通してそのまま残っていた.深度 200~250kmからは、同じ組成の結晶質物質よりも液 体の密度が高く、そのため、全地球のアセノスフェア には上澄みのアステノリスが形成されていない.

この全地球規模のアセノスフェアは外核と同等の体 積があり、内核よりも大きい.現在利用可能なマント ルの速度モデルでは検出されていない.弾性パラメー タの変化 (Vp/z と Vp/Vs の最小値)の間接的な兆候 があるだけだが,地磁気学的な研究ではこれを特定している [Gordienko, 1998; Gordienko et al., 2011; Semenov, 1998] (図2).

# 3. 上部マントルにおける地震のP波速度 [Gordienko et al., 2020]

先カンブリア紀の卓状地下での熱モデル(先カンブ リア紀の卓状地下における深さの違いによる温度と背 景温度との違い)と先カンブリア紀の卓状地のマント ルの速度分布のデータ(マントル岩石のレルゾライト 組成とその仮説との一致)に基づいて,地球上の地域 の上部マントルにおけるVp値が計算された.これら は、中央海嶺(MOR)・盆地・海溝・島弧・背弧海盆 (BAT)・大西洋遷移帯・中央海嶺の側面台地(FP)・卓 状地・地向斜・リフトおよび最近の活動帯などのよう な海洋・大陸・遷移領域下での予測モデルであり、こ のモデルは移流-多形仮説の観点から予測される造構 圏深部過程と一致している.

いくつかの領域について構築された速度断面が論文 で報告されているが、その情報には一貫性がなく(同 一領域での2つのモデル間の平均的な違いが0.10~ 0.15km/s)、あるいは、例えば(Gudmundsson et al., 1998、上部マントル下部の位置での)AK135モデ ルなどの速度変化の欠如について、先験的な概念に限 定されている傾向がある。

地震活動が頻繁に起きることで知られたかなり大規 模な地震監視システムを備えている上部マントル領域 で構築された速度モデルの助けを借りて,その状態を 修正する必要がある (図3).また,深さに応じた一次 元のP波速度 (Vp)分布を構築することでも,十分な 詳細さを反映しているとは言えないが,上部マントル における熱-物質移動の主要なパターンを明らかにす



図2 全地球アステノスフェア(PREM, IASP91, SP6, Jeffries-Bullen, Gutenberg, Vinnik)の深さ(横軸)とP 波速度勾配・S波速度に対するP波速度の比の変化及 びマントル岩石の $\rho$ の観測点での深さ方向の変化. 粘性が低いと、約700kmの深さのアステノスフェア の上部で、地震活動は停止.



図3 データが到達時間を示すグラフに使われた地震観測点(約200観測点,約40,000回の到達時間)(A)と,異なる内的条件の領域下の上部マントルに関する実験(1)と推定(APHに続く)(2)速度モデル(B). 確認された予報.実験と推定(APH)の速度分布は平均±0.07km/sの差がある.これは、各技術の典型的な 0.05km/sの誤差の値に対応する.BATの場合,その差は2倍にもなる.これらの地域については、さらなる 調査が必要.上部マントル物質の移流-運搬は、中心が深さ220~230kmに生じるセル内で起きる.ここでは TとVpは変化しない.例外は、海溝・大西洋の境界部・FP.これらの地域では、横方向からの影響でTが生成 されている.残りの実験モデルの平均Vpは、上部マントルAK135やIASP91の参考モデルのように、 8.37±0,07km/s.約9km/sの深度400kmで調整.

ることができるかもしれない.

#### 4. 仮説は検証可能でなければならない

(700 km下までの)"沈み込み帯"におけるリソスフェ アプレートの急な落ち込みに関する見解は,広く共有 されている [Gordienko, 2017など].それはプレート テクトニクス仮説 (PTH)の主要な要素である.沈み 込みは,大陸と海洋間の震源域内では,すべての深さ で起こる.共通の震源を示めすことで,どの深さでも 同じメカニズムの地震が発生すると仮定している.し かし,移流-多形仮説 (APH)では,300kmまでと 400km以深のマントル内のメカニズムが異なってい る.

図中に示されている断面(図4A)は、一方では上部 マントルの真の構造と地震活動、他方ではプレートテ クトニクス仮説との間で一致していないことを示して いる.

 "沈み込み帯"に接近している海洋プレートは冷た く密度が高く、低密度の大陸縁下に潜り込むこと ができるようにはみえない。火成活動・熱流・熱 モデルと速度モデルの証拠から、アセノスフェア は浅く、プレート密度が海溝内の岩石ブロック密 度より小さいことが明らかになった.

- 2. Turcotte et al. (1985) によると, 沈み込むプレー トは海溝の外側斜面に沿って弾性的に曲げること はできない. 必要とされる曲げは, 常に修復可能 な断層系の形成を伴っていなければならず, それ は集中的な地震活動をもたらすはずだ. しかし, 実際には, 海溝の外縁部にはほとんど, あるいは まったく地震活動がない.
- 群発地震が最も多く集中する地帯は、海溝の前面 で沈み始めるプレート表面に一致していない.こ の地帯は、大陸近くの100~150kmに位置してい る.太平洋型遷移帯の他の領域についても、同様 の結果が得られている [International…, 2014] (図 4A).
- 地震帯の "窓 (window)"は、下端が上下のマントル遷移帯に達した固いプレートの運動では説明できない。
- 深発地震帯の最も深い地帯には、島弧を横断する ように走るものもあり、プレートテクトニクスの 観点から提示された震源に関する概念と矛盾して いる.沈み込むプレートのあるものはマントル遷

国際オンラインジャーナル グローバルテクトニクスの新概念 [日本語版] Vol.8 No.3



図4 A-カムチャッカ南部地下の遷移帯の上部マントルと隣接する水域の速度異常分布(各深度での平均値からの偏差)の分布[Gordienko et al., 2018など]と震源

1-さまざまなエネルギーで分類した地震;2-P波速度の異常(km/s単位);3-海溝軸;4-カムチャッカ火山;5-マントルの岩石の部分溶融領域

I-オホーツク海とカムチャッカ西部地下の活性化した後のCimmerianプレート, II-カムチャッカ東部の島弧 (活性化したアルプス地向斜), III-海溝, IV-太平洋の北西プレート.

速度断面の下段(破線の等速度線)に示されているのは、450~500km以深まで選択された手法を用いて断面 の構築を続けるには、利用可能なデータが不足していたため、APH に基づいて推定された速度異常. B-マントルとエクロジャイトの密度の比較

C-日本の上部マントルレベルにおける地震[Enescu et al., 2009]とオホーツク海における深発地震の余震との時間分布の相関関係.

地震のグラフ:1-日本,2-オホーツク海.

移帯の上部~下部で地震を発生させ,他のものは 発生させていない.

 プレートが年間5~10cm進むために必要な表面の エネルギー単位は、熱流より3桁も大きい.その ような強力なエネルギー源を作り出すことができ る自然のプロセスは知られていないので、そのよ うなものを探すことは無意味であろう.100万年 間の摩擦熱は4~5000 ℃に達する.

このようなミスマッチのリストは、まだまだ続くか もしれない.しかし、上記で指摘したものでさえ、異 常な速度や地震のパターンは、プレートテクトニクス の概念とは異なると結論づけるのに十分である.

深さ300km程度までの(APHに続く)大陸型地殻を もつ地域の上部マントルでは,活動期の地震の多く は,地殻内に形成され圧縮されたエクロジャイト(オ ンファス輝石+パイロープ)ブロックの沈み込みに伴 うものである(図4B).下部マントル遷移帯では,マン トル岩石の鉱物の変質だけでなく,温度や圧力の変化 にともなう正負の密度変化を伴う地震が発生する.

余震の時間的な分布は,発震機構のタイプをある程 度示している可能性がある [Guglielmi, 2017]. その 意味で,2013年オホーツク地震に関するデータの意 義を過大評価することはできない.それは深さ600 km 以上の余震を伴う初の地震である [Chebrov et al., 2013]. より浅い地震の余震分布が大森の法則に 従うことは,古くからの常識である.これは,ストラ イクスリップのメカニズムに合っている.しかし,大 森の法則は,少なくとも最初の時間的な余震系列につ いては,今回の研究ケース (図4C) を支もしていな い.オホーツク海における地震に関するグラフ上の下 降枝は,マグニチュード6.8のかなり強い地震 (9時間 後)の後に発生している.

#### 理論の適用

前述の検証例に加えて、地質学理論は既知の事実の 非常に広範な領域を説明しなければならない。

- a. 異なるタイプの内生的レジームをもつ地域の地史 を再構築することができることを示す. 提案され たこの過程のメカニズムが,隆起・沈降の速度・ 間隔・堆積・発生年代,地域進化のいろいろな段 階でのマグマだまりの深度,および地殻内の岩石 形成や変成帯の分布など,を計算できなければな らない. モデルは実験データと比較される.
- b. その地域の推定された物理データと観測された物 理データとの間に、定量的な整合性があることを 実証する.適用された過程に基づいて推定された 地域の速度モデルと地電流モデルが、実験的事実

から得られたモデルと比較された. 推定された重 力場・磁場・熱流 (HF) の分布が, 観測されたそ れと直接比較される.

- c. 重要な点は,選択の欠如である.パラメータは, 推定されたデータと実験データに対して,事前に 適用された基準精度限度内で一致している.この 限度が過度に超えることが判明した場合(すなわ ち,過程の根本的に異なるメカニズムのための場 とモデル間の相関を許す場合),深部地球物理学的 研究に関するこの方法を適用した比較は決定的で はないと考えられ,規制基準のリストから除外さ れなければならない.
- d. 内生的レジームのタイプについて明確なイメージ がなく、適切に深部過程のタイプを確実に選択す ることができず、未解決の最近の活動過程が分析 される場合、そのような比較は観測データから得 られた特定のパラメータの助けを借りて実行する ことができる.この特殊な場合、内生的レジーム のタイプを決定することがまさに本研究の目的で ある.
- e. 異なる制御方法の関連性は、内生的レジームのタ イプや過程の年代によって変化することは言うま でもない.

地球物理学的データの利用は、過程の影響が地殻や マントル物質の物理的性質に重大な異常が生じた場合 にのみ可能であり、その異常を十分な精度で予測する ことができる。これらの影響は、岩石の組成と深部温 度(T)の変化によって引き起こされる。このような組 成の変化は、かなりの深さの範囲内で、現在の岩石組 成が決定され、その過程が始まる前に存在していた岩 石の組成がわかっていれば、地球物理学的データの観 点から研究することができきる.確かに、そのような 問題が定量的なレベルで解決できるとは限らない。厳 密な深発地震探査で得られた地殻とその層構造や厚さ のデータは、例外的な場合もある、過程の開始時に地 球内部で形成され、現在までにわずかに小さくなった 温度異常は、かなり正確に記載することができる。そ の結果として生じた物理的性質(および物理場)の擾 乱は、十分な大きさであれば記録することができる が,その大きさはアルプス過程と後アルプス過程 (Alpine and post-Alpine processes) のためにのみ 維もされている.

現在地表を覆っている火成岩や堆積岩の組成や岩相 変化の程度などの地質学的データは、温度異常に比べ てあまり変化していないため、多くの場合、先アルプ ス過程の解析には前者を用いることが望ましいとされ ている.

### 1. 世界の楯状地の岩石年代

楯状地の上部マントルの進化の詳細な解析と,推定 される活動過程年代と全大陸の楯状地の岩石に関する 実験的に確立された年代との比較は,Gordienko (2017)等で公表されている.この比較は,後期始生 代と原生代から始まって,活動過程が全領域に一斉に 広がることはなかったという事実によって否定され た.マントル岩石の発熱量のわずかな違いが,まさに 単一のブロックで評価が行われたのに対して,異なる 楯状地ブロック内での活動過程の推定年代には一定の ズレが生じいる.それでも、シベリア・中韓・アフリ カ・南アメリカ・オーストラリア・南極卓状地と同様 に、カナダ・バルト海・ウクライナ・インドの各地域 のモデルによって決定された年代と比較することで, 確実に年代測定結果を確認することができる(図5).

モデルに基づく年代測定結果と比較して, "スキッ プされた (skipped) "実験的な年代測定結果のケー スが (51件中4件と)少ないのは, 楯状地に関する知識 不足と筆者が得た情報不足によるものと考えられる. また, 南極大陸は地表の大部分が氷に覆われており, 研究が進んでいないため, "スキップされた" ケース が非常に多い. 全体として, 推定データと実験データ の一致では疑う余地はなく, それがランダムな偶然の 一致であると提案することは不合理である.

36億年以上の間に発生した活動過程の痕跡が観察 された世界の楯状地と卓状地域では、23の活動的な 現象が発生している。その中には、3つの地向斜過 程,11件のリフティング、9つの活動過程が含まれて いる (最近の活動過程は、卓状地の大部分でまだ発生 していないため、ここには提示されていない)、行わ れてきた評価は、実際には Stille の基準を物理的に具 体化したものである [Stille, 1924]. この結果 (約14・ 10<sup>14</sup> J/m<sup>2</sup>のエネルギー消費量)は、地殻や上部マント ルで生じた放射性の発熱と造構圏からの導伝性の流れ の差に相当する。したがって、導出された14・10<sup>14</sup>J/ m<sup>2</sup>を放出された全エネルギーと比較すると、全エネ ルギーの20%を占め、放射性エネルギーだけで比較す ると30%になる、造構圏での放射性発熱は深部過程を 説明するのに十分であり、とくに情報のない深部過 程(核/マントル界面など)については,他のデータに 頼る意味はない。

図6Aは、卓状地の地殻と上部マントルでの発熱量 と、最近36億年の間に活動過程で費やされたエネル ギーの変化を示している。

年代に対する活動の進化は、地殻よりもマントルで



図5 研究された楯状地・卓状地モデル(M)と実験データ(USh)のウクライナ楯状地の岩石年代測定結果(100万 年単位)との比較.

褶曲年代:1-始生代, 2-原生代, 3-Riphean紀, 4-顕生代

の発熱量の変化とよく一致している.これは,地殻の エネルギーの大部分が熱流を維もすることに費やされ ているためで自然なことである.図5に示すように, 造構火成活動の低下は,放射性元素の崩壊過程での濃 度低下のみによるものである.マントル岩石にはこの ような発熱量の低下は見られないが,そうでなけれ ば,推定されたデータに基づいた曲線の下に実験的な 点がプロットされているはずだ.



図6 (A)-卓状地の地殻(1),マントル(2)の発熱量の相 対的な変動,6億年間の活動過程に必要な平均エネル ギー量(3),(B)-Azbel et al.(1988)による物質流量の 時間変動(1),6億年ごとの熱と流動移動エピソード 数(2)の変動.

#### 2. 地史における物質流の進化

上記のデータは,エネルギー保存則を遵守している ことを示しているだけでなく,放射性元素の崩壊過程 での濃度低下により,活動過程の出現が期間中に5倍 に減少していることを示している.

このような変動の可能性を検証するための独立し た手法がもう一つある.それは、同位体地質年代測定 システムのシミュレーション研究に基づいている [Azbel et al. 1988ほか]. このモデルは, He・Ar・Ne・ Xeの不活性ガスと同様に, マントル・地殻の玄武岩 や大気中のK・U・Srとの相関関係の問題を解決するこ とが期待されている.マントルから地殻への物質の流 れの概念を考えれば,この過程の強さが時代とともに 変化するという,記録された矛盾は解消される.筆者 らが適用した物質の流れの時代変化を図6Bに示す.こ れは,単位時間内の卓状地マントルにおける熱や物質 移動エピソード数の相対的な変動に適合しており,造 構圏のエネルギーバランスに適用されたパラメータの もう一つの検証と考えられる.

その結果得られた均衡 (parity) により, 最近36億 年間に起こった23の卓状地活動事象のうちのひとつに 対応する物質の流れの強さを計算することが可能に なった. これは, 13~13.5 km の厚さの層に相当す る物質のマントルからの除去と一致する. 卓状地の発 熱 (HG) の場合, 理論的には, 各活動事象の間に厚さ 7~8 kmの層に相当する物質がマントルから除去され ることになる。地向斜帯の場合,HGは1.5倍,海洋下 では卓状地の2倍になる.これらのタイプの地域で は、それぞれ34~35回、45回の事象があると考える のが論理的であろう。一部の乾燥陸地や大陸棚・大陸 斜面などの地殻と海洋地殻が異なる部分は地表面の 35%を占めており、卓状地と地向斜帯が同程度の面積 を占めると仮定すると、卓状地上での活動事象ごと に、平均して地表面の厚さ13kmの層に相当する物質 が除去されていることになる。言い換えれば、このエ ネルギー収支は、観測された地球の脱ガスに必要な物 質の流れと一致している。

3. 先カンブリア紀前期から私たちの時代までの岩石 の形成や変質が行われた圧力・温度 (PT)を反映した 地中の温度データは,地殻やマントルで適用された発 熱レベルを裏付けるものである.この情報は,卓状地 のキンバーライトやアルカリ玄武岩を介して運ばれた ゼノリスによって提供されている.地殻データの大部 分は,侵食による切断の大きさが異なるユニットを形 成している表層近くの岩石から得られたものである. これらの地層や地殻の大部分からのゼノリスの鉱物学 的特徴は,最高温度の痕跡を残している.マントル中 では,極端なPT条件下で,岩石は大部分が卓状地の 条件に "なんとか適合"していたが,推定された温度 が高すぎて,実験的に得られた温度とあまり一致しな かった.

4. 上述したように、卓状地上の地殻と上部マントルの温度は、一方では推定された温度と、他方では実験 データとの間で一致していた.また、顕生代の地向 斜・リフト・大陸上や海洋中の単発的な活動過程が存 在する領域や、顕生代の地向斜・リフトとの間にも、 同様の相関関係がみられた(図9).推定データと実 験データは、かなりよく一致しているようである.そ れらの相関の程度の数値的特徴は、2つのパラメー ターによって表されている:すなわち,推定温度と実験温度の違い,および同じ深さで測定されたマグマの 温度の違いである.両方の相異は約 50℃ になりる. つまり,実験データと推定データの不一致は,実験誤 差に原因がある可能性がある.

5. 地域の熱モデルと熱流(HF)分布との間の相関関係は、選択された熱と物質移動パターンを検証するための選択方法であるようにみえる.地球の異なった地域で達成された一致は、ほぼ完全なものである.複雑な場合、不明確な性質の擾乱を除去する方法として、データの平滑化を用いる必要がある.(観測HF値と計算HF値の)一致は、地球の他の地域でも達成されている.ライン地溝・チェコ地塊・アペニン山脈・ディナリーズ・スタブロポール隆起・大コーカサス・ウラル・トゥラニアンプレート・コペトダグ・タイアンシャン(天山山脈?訳者註)・パミール・アフガン-タジキスタン低地・バイカル・シホテ-アリン・サハリン・日本海とオホーツク・北海道・カムチャッカ・プールと隆起地域・アパラチア山脈.

6. 堆積層が厚くなることは, 沈降に相当すると考え られていた. この仮定をウクライナ楯状地とその周辺 の窪地の例で検証した. 堆積層に供給された岩石の量



図7 先カンブリア紀の卓状地の岩石が形成されたPT条件について活動期の推定された温度(1)(T)と実験で得られたデータ(2)との比較.

それぞれの楯状地に使われている記号:CnSh-カナダ盾状地,BSh-バルト楯状地,UkrSh-ウクライナ楯状 地,IndSh-インド楯状地;卓状地:AfrP-アフリカ,SAm-南アメリカ,AuP-オーストラリア,AntP-南極



は、Riphean紀(※)から現在に至るまでの楯状地の侵 量とよく一致している.

※ 訳者註:Riphean紀;リフェアン (Riphean) は, 地質時代のひとつ。原生代に含まれる。名前はウラル 山脈の古名から.開始年代は16億5000万年前,ある いは16億年前、14億年前などとされる。終了年代 は、8億0500万年前とし Sturtian(≒クリオジェニア ン)に繋げることが多いが、6億5000万年前とし Vendian(≒エディアカラ紀)に繋げることもある. 前期 (1650-1400 Ma)・中期(1400-1050 Ma)・後期(1050-805 Ma)に分けられる。前期と中期が原生代中期(≒中 原生代)に、後期が原生代後期(≒新原生代)の前半にあ たる. (ウィキペディア)

A-太平洋西部のテーチス地向斜と島 弧。B-ユーラシア大陸の最近の活動 地帯. B (Cのミスか. 訳者註) -背弧 海盆. C (Dのミスか. 訳者註) -リフ ト;北アメリカ・ユーラシア・アフ

沈降(および隆起)は、温度異常・さまざまな変形 と地殻の組成および厚さの変化と関連していると考え られている。例えば、後者の要因は黒海の西海溝の形 成に大きな役割を果たした。それは、メシアプレート (the Mesian Plate) からトゥラニアプレート (the Turanian Plate) まで広がった露出地内に位置してい る. そこは, 異常に塩基性化された古い地殻である. 若い活動過程期間に、バサルトイド(basaltoids)が エクロジャイトに変化する過程が、海溝に海洋化した 外観を与えた.

図11は、多くの場合、異なる盆地の堆積層の平均 的な厚さを示している。この一致はかなり良好で、そ の差が顕著に拡大するのは移行帯の大西洋型海溝のみ



図10 地球のさまざまな地域における熱流量値の実験値(1)と推定値(2)の変化. 地域:A-カルパチア山脈,ヴォリノ-ポドリアプレート,ウクライナ楯状地.B-中央地塊のフランス,西ア ルプス.C-南オホーツク海溝,千島弧,千島-カムチャッカ海溝.D-アンゴラ-ブラジル断面.E-北アメリカ 大陸と大西洋との接触部.

である. このタイプの地帯の深部過程は,大陸の場合 のように確実に研究されてきていない.大陸間および 背弧海盆における事象の分析は,この地域が海洋化作 用を受けたことを示唆している.これに一致するのは マントルにおける熱と物質の移動であり、リフトでの 現象と似ているが、より激しい. Cloos (1939) が提 案した 3 つのアプローチは、塩基性地殻上でのリフ ティングへも適用されると認めざるを得ない. 堆積岩



図11 カルパチア山脈の褶曲部(A)・スキタイプレート(B)・ドネッツ盆地(C)・ドニエプル-ドネッツ低地帯 (D)・プリピャチ海溝(E)・西黒海海溝(F)・北アメリカ-大西洋海溝の内側(G)と外側(H)の海溝・南オホーツク 海溝(I)・ヴォリン-ポドリアプレート(K)における堆積層の厚さの実験値(1)と推定値(2)の変化.

の厚い層をもつ大規模凹地 (syneclise) は, Riphean 紀の過程によって地殻が塩基性化されたドニエプル-ドネッツ低地帯にあるリフト構造上に,石炭紀~ペル ム紀に形成された.塩基性地殻のブロック上に出現し た黒海リフトでは,亜海洋構造が白亜紀~新生代に形 成された.多くの場合,現海洋の広大なこの種の構造 では,供給地がはるかに遠いため,厚い堆積物で満た されていない.

7. マントル重力異常の値は、観測された場と地殻効 果の差として推定される。後者は、速度断面に基づい て確立された密度断面から導き出される。実際に使用 されている上部マントル密度 (3.32g/cm3) と比較する と,異常な密度になる。卓状地の一部では,非常に長 期にわたる活動過程を受けてきたことが知られていな い (マントル密度は正常で基準値に近い) 場合, 地殻 効果-870mGlは、観測された場ではゼロに相当する。 地殻効果 (the crustal effect) は、この基準を参考に 分散させている。観測された場からの偏差は、マント ルの異常性を評価するために使用される。精度の良い 速度断面を用いても、その誤差は少なくとも10mGl です. 多くの場合, 卓状地上の最近の活動過程に対応 する20mGlの異常は、重要だと考えられる。また、ア ルプス地向斜とリフト (主過程に加えて現代の活動過 程が発生している領域を含む)では、異常値が大きく なっている (図 12) . マントル異常の影響を考慮した 場合の推定値と観測値の平均値の差は、±17mGlの誤 差に起因するものではない。

(観測されたΔg値と計算されたΔg値の)の一致は, 地球の他の地域でも達成された.アルモリカン地塊・ アルプス・プロヴァンス・アペニン山脈・ティレニア 海とアドリア海・スデテンランド・バルト楯状地・ス カンジナビアのカレドニア造山・ヴォロネス地塊・モ スクワ 大規模凹地 (syneclise)・ウラル山脈・ティマ ン海嶺・ペコラ低地帯・小コーカサス・大コーカサス・ クーリン低地帯・カルピンスキー Val,・カスピ海低地 帯・マンギシュラク・ウスティユルト・トゥーランプ レート・コペトダグ・バイカル湖・シホテアリン・サ ハリン・千島列島・北海道.

構築されたモデルを検証するための手順のリストは 継続できるが、残りの例では結果の信頼性を高めるこ とはほとんどない.全体としてはこれで十分である. モデルのパラメータを選択することなく、このような 定量的な一致を得て、不一致が許容範囲内であること を可能にする仮説は、他にはない.

この理論を,地震活動やUHPブロック問題の研究 や鉱物資源(炭化水素・熱水硫化鉱・ダイヤモンド・ 地熱エネルギー資源)の探査に応用することが検討さ れてきた.これらの研究は,前述の関心分野で利用可 能な知識に,さまざまな程度の重要性をもって貢献し ている.しかし,これらの研究成果は,鉱床がどのよ うにして形成されたのかを明確に説明するものではな い.鉱床の形成には,地殻変動の過程で生じる熱や物 質移動などの付随的な現象が関係している.このよう な応用の主な意義は,地質学的・物理学的情報を分析 するための試行錯誤された手法を新たなターゲットに 適用できることにあると思われる.また,上記の過程 を研究する専門家が自由に使える追加ツールとして有

> 図12 活動過程の一部の領 域におけるマントル重力異 常.

> 1-観測された場(ブーゲ異 常),2-地殻と正常マントル の推定された効果,3-マン トルの密度異常を考慮して 推定された効果。

> 最近の活動過程地帯:A-ウ クライナ楯状地の中心部; B-ドニエプル-ドネッツ海溝;D-ス 溝;C-ドネッツ海溝;D-ス キタイプレート;E-西黒海 方最近のリフティング と地殻塩基性化領域の縁辺 部;F-東部カルパチア山 脈;G-東部カムチャッカ, 千島-カムチャッカ海溝と 太平洋の北西プレート.



H-大西洋中央海嶺(MAR)と隣接する盆地を横断するアンゴラ-ブラジル地質構造横断帯;I-北アメリカ側の大西 洋海溝の内側と外側の低地帯と,活動過程のアパラチア帯をもつ北アメリカの隣接部分;J-南部オホーツク背弧 海溝;K-アンデスからナスカプレートへの遷移帯。

用であることを証明する重要な新機能でもある.

#### 結論

本論で紹介した内容は、定式化された要件を満たす 地質学的理論が現実的であることを示している。本論 は著者の長年の研究成果である。筆者はここ数10年 の間に地質学の分野で支配的になったプレートテクト ニクスの概念を受け入れることができなかった。地球 の歴史の中での地殻変動とその進化の因についての他 の現代的な考えもまた、筆者によって定式化された要 件を満たしていない、それは第一に、深部過程のエネ ルギー源に関するものである。筆者によれば、深部過 程の体系的な構想の構築にエネルギー源とエネルギー 保存則を導入することで、地球の発展の一般的な理論 のための強固な基礎が生まれたとみられる。それぞれ の結果は、選択肢を使わずに多くのパラメータによっ て定量的に制御することができる。現在では、そのよ うな制御は、地質現象や物理分野の広い範囲ですでに 行われている。実施されたと思われる作業は不完全だ が、筆者は重要な一歩が正しい方向に踏み出されたこ とを確信している.

謝辞:この論文をロシア語から翻訳してくださった Rita Schneider 氏に特別な感謝の意を表したいと思 います.

#### 文献

- Azbel, I., Tolstikhin I., 1988. Early evolution of the Earth. Apatity: Preprint, Kola Branch of the USSR Academy of Sciences. 42p. [in Russian]
- Belousov V.V. 1975. Fundamentals of geotectonics. Moscow: Nedra. 262p. [in Russian]
- Belousov V.V. 1978. Endogenous conditions of the continents. Moscow: Nedra. 232p. [in Russian]
- Belousov V.V. 1982. Transition zones between continents and oceans. Moscow: Nedra. 152 p. [in Russian]
- Chebrov, V.N., Kugayenko, E.A., Vikulina, S.A., et al., 2013. The 24.05.2013 Deep-Focus Earthquake with a Magnitude of 8.3 Powerful Seismic Events off the Coast of Kamchatka over the Period of Detailed Seismological Observations. Reports of the Kamchatka Regional Research Center Association, Earth Sciences, Vol. 21, No. 1, pp. 17-25. [in Russian].

Cloos H. 1939. Hebung - Spaltung - Vulcanismus. Geol.

Rundschau. 30. s. 401-519, 637- 640.

- Enescu, B., Mori, J., Miyazawa, M., and Kano, Y., 2009. Omori-Utsu Law c-Values Associated with Recent Moderate Earthquakes in Japan. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol., 99 (2A), pp. 884-891.
- Gordienko V.V. 1975. Thermal anomalies of geosynclines. Kiev: Naukova Dumka. 142p. [in Russian]
- Gordienko V.V. 1998. Deep processes in the tectonosphere of the Earth. Kiev: IGF NASU. 85p [in Russian]
- Gordienko V.V. 2007. Advection-polymorphic hypothesis of processes in the tectonosphere. Kiev: Korvin press. 172p [in Russian]
- Gordienko V.V. 2012. Processes in the Earth's tectonosphere (Advection-polymorphic hypothesis). Saarbrücken: LAP. 256p. [in Russian]
- Gordienko V.V. Thermal processes, geodynamics, deposits. 2017. 285p.
- h t t p s : // d o c s . w i x s t a t i c . c o m / u g d / 6d9890 090e4a0466b94934b7d7af8c751a70bf.pdf
- Gordienko L., Gordienko V. Velocity structure of the upper mantle. NCGT Journal. 2020. 2.
- Gordienko V., Gordienko L. Plate tectonics and earthqakes. NCGT Journal. 2018. 4. pp.480- 492.
- Gordienko V., Logvinov I. The global asthenosphere. Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2011. 2, pp 109– 116. [in Russian]
- Gudmundsson O., Sambridge M., 1998. A regionalized upper mantle (RUM) seismic model. J.G.R. 102, B4. p. 7121-7126.
- Guglielmi A.V. The Law of Omori (from the history of geophysics). Advances in physical sciences. 2017.187.3.P. 343-348. [in Russian]
- International Seismological Centre, On-line Bulletin, http:// www.isc.ac.uk, Internatl. Seismol. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014.
- Ivanov A.V. 2010. Deep geodynamics: process boundaries according to geochemical and petrological data. Geodynamics and tectonophysics. 1. pp. 87-102. [in Russian]
- James D., Boyd F., Schutt D., Beii D., Carlson R. 2004. Xenolith constraints on seismic velocities in the upper mantle southern Africa // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. v.5, 1. – doi:10.1029/2003GC000551.
- Popper K. 1959. The Logic of Scientific Discovery. London and New York. Routlege classic. 514p.
- Semenov V.Yu. 1998. Regional conductivity structures of the Earth's mantle. Publish. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. C-65(302). 122 p.
- Stille H. 1924. Grundfragen der vergleichenden tektonik. Berlin: Gebrüder Borntraeger. 443p. Terkot D., Schubert J. 1985. Geodynamics. Moskow. Mir. 730p.[in Russian] Wikipedia.

# 地球規模で記録された破壊的地震活動に関連した宇宙気象 Space weather-related to potentially destructive seismic activity recorded on a global scale

Gabriele Cataldi<sup>1</sup>, Valentino Straser<sup>2</sup>, Daniele Cataldi<sup>1,3</sup>

- (1) Radio Emissions Project (I). ltpaobserverproject@gmail.com
- (2) Department of Science and Environment UPKL Brussel (B). valentino.straser@gmail.com
- (3) Fondazione Permanente G. Giuliani Onlus (I). daniele77c@hotmail.it

## (久保田喜裕 訳)

### 要旨

本研究では、太陽起源の現象と地球規模での破壊的な地震活動との間に潜在的な関係があることを論じてい る.地震の緊急時には、人と社会活動を守るための被害防止策を勧め、地震の引き金となる現象の理解を深める ために、現代社会への新たなデータの取得が求められている.想定される因果関係のうち、破壊的な地震が発生 する可能性のあるものを太陽活動と比較した.本研究では、世界121の地震地帯を分析し、それぞれの地震帯に ついて、単純な一致といったメカニズムを超えた特性を検出した.それぞれの地震発生場所は、ジオダナミクス や地殻の性質に応じて、他の場所とは異なる特徴をもっていることが判明した.その結果は驚くべきものであ り、地震の前兆の研究に新たな展望を開くもので、地震学、テクトニクス、地球物理学の分野の貢献 である.

# 地球の調和 Earth's Harmony

# Muhammad Hassan Asadiyan Falahiyeh Emeritus member of Payam-e Noor University, Ahwaz/Iran asadiyan@pnu.ac.ir

(赤松 陽 訳)

この小論でいう調和とは、対称性や対蹠性あるいは二重性を意味している。地球のスケールでみると、地球の 表面は、人間がもっている対称性と対蹠性/二重性と似ているように思えるが、どんどん小さなスケールに入って いくと、無秩序(カオス)が増加する。スパイラルモデル(a spiral model)を地球に適用することによって、他 のモデルではほとんど認知できない多くの隠れた調和を発見できる。これらの調和は、地球の表面で見られるだ けでなく、GPSベクトルの分布、磁気異常、重力異常にも見られる。細かいオーダーの調和を知るためには、高 解像度のマップが必要である。これらの調和のいくつかを、以下のようにリストアップすることができる。(編 集者:Couplecities は、対蹠(antipodal couplings)と解釈することもできる).

- 1-地球規模では、地球は最高の調和(楕円形)をもっている.
- 2-大陸の集積は、ポリゴン(多角形)のように見える(左下隅). 互いに良く似た三重会合点は、メッカ(アフリカ-大地溝帯)付近と太平洋の中心にある2つのスーパープリュームと調和している.
  - 3-地球ポリゴン (EP) の傾きは、紅海と同様に、地球の傾きとまったく同じである.
  - 4-Global Sigmoid/GS (グローバルシグモイド:地球の丸く膨らんだ形) 内のねじれ場によってねじれた地球

(GS:地球上のS字形).

5-GS は地磁気軸の周りを巡っている.

6-アラビアンシリンダー(Arabian Cylinder)を通っている地磁気の磁場のゆがみは最小である.

7-EP は GS によってもたらされ, GS はMecca Spiral (メッカ螺旋形: MS) によってもたらされた.

8-MS の中心線 (Central Bar: CB) は GS の中央に位置する.

9-MS の Dahw-arm (D) と Tahw-arm (T) は北極と南極で終了している.

10-東西方向からの MS の Dahw-arm (D) とTahw-arm (T) はヒマラヤとバミューダで終了している.

 $11-\delta 9$ イプの D/T arm は, NS および EW 方向に沿って逆分極している. たとえば, NS分極の場合, D/T arm はそれぞれ凍結水 (北海-) と凍結大地 (南極大陸+) で終結している (右上と左上の写真). しかし, EW 方向 では, それぞれ山岳地帯 (ヒマラヤ+) と窪んだ地帯 (バミューダ-) で分極化している.

12-地球の傾きのために, アルプスーヒマラヤは W-E 方向に曲がりくねったが, ロッキー-アンデスは N-S 方向に曲がりくねった. これら2つの地帯は, フォワード (F) フィールド (速い磁場: Forward fields) とリタード (R) フィールド (遅い磁場: Retard fields) の干渉によって生まれた.

13-バミューダは2つの大きな山岳 (ロッキーとアンデス)の間に生まれたが、ヒマラヤは2つの大きな湾 (インダスとベンガル)の間に生まれた.

14-我々は大西洋の相対する部分で生まれた正反対の地勢を見る (例えばアフリカーサハラ砂漠とブラジルー森林).

15-アフリカの中心-サハラ砂漠は反時計回り(左回り)の螺旋に一致するが、ブラジル-森林は時計回り(右回り)の螺旋に一致する.

16-地球の中心で生じ地球全体を上下した MS は、片側に太平洋と他方に豊かな大陸を造った。地球のメビウス (右下図) に沿うひねりが、この地球の分極化の原因である。

17-前の部分 (δ) は, 紅海と地中海を突き抜けているが, 後の部分 (丸く膨らんだ形) はアンデスとヒマラヤを 突き抜けている. 前の部分と後の部分は直角をなしている.

18-地中海は前方の鞍部と後方の鞍部の極値点に発生した(極値点は狭いカーブの頂点:Narrow Apex (NA) と広いカーブの頂点:Broad Apex (BA)の間で,NA と BA は前方鞍部の末端部である。右下の図を注視).

19-もっとも古い点として、メッカ (緑色の点) は、BAの曲線の中心に位置している.

20-大西洋中央海嶺 (MAR) と緑色の点 (GP) に対応する大陸中央リッジ (MCR またはウラル山脈) は,天変地 異 (説) 地帯 (CZ) に沿って生まれた.

21-MARとMCRは、GP に対してまったく正反対の分極に位置している.

22-a/b ウィング (白い点線の曲線) は、中央バー (時計回り) に対して成長した、逆に (時計回りに) 回転する D/T-arm の成長した形である.

23-紅海の両側にある a/b-wing は, A/B-wing と同等であるが, a/b-wing は発生の最初の段階を表しており, A/B-wing は2番目の発生を表している.

24-地球力学的極 (GP/Mecca) の北方への移動により, NP (グリーンランドとスピッツベルゲン) は一点へ集 中し, SP (オーストラリアから南極大陸) で分岐している.

25-空間でのGPの位置変化は、それに応じて、大陸と海洋の位置の再配列を起こす。

26-GPは地球上で最も安定したポイントとして、高活動領域(ファイアリング)に対して正確に配置される。

27-地球の多角形 Global Polygon に示されている三重会合点 (左下の図) は大陸三重会合点 Continental Triple Junction (CTJ) と名付けられ、太平洋スーパープリュームに調和したCTJに相当するものは、海洋三重会 合点 (OTJ) と名付けられている.

28-螺旋状の 'c' とそのトレイルは、インド、オーストラリアと南極大陸の間に適合性を確率しており、トランスフォームスパイラル (TS) と名付けられている.

29-メッカスパイラルあるいはグローバルトランススパイラルは、非常に基本的な座標に沿った構造に適合性を確率している.

30-地球における地震は、空間的にGPの位置と、そして時として月や太陽の位置に関係しているようである.

# 固体地球の電場およびマントル基底における起源 The electric field of the solid Earth and its origin at the base of the mantle

## Roberto Mortari

# Department of Earth Sciences – University La Sapienza, Rome roberto.mortari@gmail.com

### (村山敬真・久保田喜裕・小坂共栄 訳)

### 要旨

過去に1,000m規模の大きな海水準の上昇をともなう大海進が周期的に発生し、その後の海退よりもはるかに 速い海進期をともなった.これは地球の体積の変化の結果としての海洋が占める面積の変化に起因した結果で、 地球の密度が大きく変化した.これらの変化は413kmおよび660km,2,883kmの地震波不連続に対応して集中し ている.この不連続では、物質の化学的特性ではなく、物理的特性が変化する.地球は、その体積の大幅な減少 と増加を経験しており、これらはここでは万有引力係数Gの増加と減少によって説明される.上から2つの不連続 では、重力エネルギーの熱エネルギーへの変換があった一方で、密度のジャンプが一桁大きい3番目の不連続で は、Gの増加が大量の電子を放出したと想定され、一部はマントル底部に蓄積し、一部は上方に放電され、マン トルと地殻の厚さをいくらかの地点で貫通し、それによって出発点の不連続の下に存在する超苦鉄質物質の上昇 の道を開いたことだろう.したがって、ここでは、下部マントルと同じ化学的性質をもつと考えられている地球 の外核は電離し、これまで、電離圏の底部と大気の底部の間に限定されると考えられていた地球の電場は、マン トル底部まで拡張され、その結果、地球磁場は自然の成り行きになるはずである.仮説の証拠として、キンバー ライトとその関連の岩石の年代がここで調べられている.それらの相対的な位置は、大規模海進によって示され たのと同じ周期に従い、海進がそのピークに達したときに放出される大量の電子の上昇によって支もされる可能 性がある.超苦鉄質および苦鉄質岩脈も同じサイクルを示しており、低海面または重力の最小値と相関している ように思われる.

キーワード.粘土の続成作用,海進,地球の体積変化と構造,重力変化,火山活動,圧縮状態と伸長状態,パイ プと岩脈,周期性,固体地球の電場

#### 序章

地球物理学では、地球の磁場と電場の間には不調和 な関係がある.電場には明確な磁場との対応がなく、 磁場には対応する電場がない.実際には、磁場はその 大部分(約95%)が地球内部で発生していることが認 識されているが、固体地球空間は、ファラデーケージ (a Faraday cage,訳注:導体に囲まれた空間)のよ うに振る舞うため、内部の自由電荷を維もできない導 電性の球体であるとみなされる.

なぜ、地球の電場も固体地球の内部に広がっている と理解されなければならないのかが明らかされるだろ う.そして、先にあげた不調和を解決した上で、電場 が何から発生しているのか、地球のどの体積が正確に 関与しているのかを理解しようとする. 天然粘土は堆積後に,1) 自由水面の上に露出して 「乾燥」するか,2) その上に堆積した堆積物によって 圧力を受け,この場合は「圧縮」するか,3) 不安定 な粘土質の斜面を固めるために使用される電気浸透脱 水法 (an electroosmosis treatment)のように電界 を印加するかの,3つの異なる状況で体積が減少,す なわち含水量の一部が失われる.

粘土層が堆積後に受けた続成作用の進化を確認する ためには、含水率・密度・空隙率・せん断抵抗などの 地盤工学的パラメータがどのように変化するかを観察 することができる。しかし、粘土を現在の状態に導い た条件を再構築するために最も有効なパラメータは、 先行圧密圧力(the preconsolidation pressure)pc である。これは、標準版の場合、24時間ごとに圧力 が2倍になる、側方膨張のない圧縮試験(オイドメト

#### 粘土の圧密

リック試験:oedometric test)を用いて決定される.[訳注:先行圧密圧力(pc値)とは、地盤工学で使われ、地層が過去に受けた最大の圧密圧力を表す]

このようにして得られた先行圧密pc は,一般的には 粘土が地質学的歴史の中で受けた最大圧力と解釈され ている.しかし,この定義を検証したところ,これが 正確に当てはまらないことが観察された.検証は,イ タリアの北アペニン山脈のアドリア海側にあるサンテ ルノ川の谷間に,元々 3,000m 近い厚さで露出してい る鮮新 – 更新世の層序で行なわれた.このようにし て,先行圧密と密度が,堆積物表面からの距離ととも に徐々に増加することを確認することができたが,先 行圧密は実際には最大圧力の2/3にしか匹敵しない (Mortari, 1976).この結果は,物質の構造が乱されな いままではなく,したがってその記憶の一部を失う, オイドメトリック試験の実行の仕方によって理由づけ することができる.

それとは逆に、アペニン山脈の反対側、ティレニア 海に向かって、同時代の粘土質堆積物の厚さはかなり 薄くなっている(もはや数千メートルではなく、ほん の数十メートル).カラブリア階の厚さは、サンテル ノ河谷では1,000m以上の厚さなのに対し、ローマの 北40kmに位置するモンテロトンドの近くでは、約7 mで、pc 値はこの期の全層厚で常におよそ20kg/cm<sup>2</sup> のままである。鮮新世とシチリア期の堆積物に移行す



図1-上部鮮新世・カラブリア期・シチリア期の 堆積物が表されている、ローマの北40kmのモン テロトンド近くの粘土質層の先行圧密圧力値pc を使用した地盤工学層序. 鮮新世と更新世の間 の古生物学的境界は、一般的な意味で、30kg/ cm<sup>2</sup> と 20kg/cm<sup>2</sup> の値の間の遷移に対応する. Mortari, 2010年より.

ると、それぞれ約30kg/cm<sup>2</sup> (その後40)と約11kg/ cm<sup>2</sup>に急速に低下する(図1)(Mortari,1977; 2010); 30kg/cm<sup>2</sup>と20kg/cm<sup>2</sup>の間の遷移は、鮮新世 と更新世の間の古生物境界に対応する (Borzi et al., 1998). カリフォルニア州では、上部鮮新世とカラブ リア期の粘土が類似のデータを提供し (Skempton, 1970), これらの場合のpc の値は年代層序学的に重要 であることを確認する.

イタリアのさまざまな場所で採取された海成粘土と 湖成粘土の独立したサンプルは,狭い間隔で集中した  $p_c$ 値を示している(図2).5.5・11・20 kg/cm<sup>2</sup>の値 は3つの更新世の期に帰するが,残りの約30・42・55・ 75・100 kg/cm<sup>2</sup>の値は鮮新世の多くの期に帰すると 考えられる(Mortari, 2010).



図2-イタリアのさまざまな場所で採取された鮮新 世と更新世の海洋(白)と湖沼(黒)の粘土試料 から得られた先行圧密値pcの頻度のヒストグラ ム.約5.5・11・20 kg/cm<sup>2</sup>の値は,後期,中 期,前期更新世を特徴づけている.約30・42・ 55・75・98 kg/cm<sup>2</sup>の値は非常に多くの鮮新世の 時代を表している.Mortari, 2010より.

pc 値の最大値が下部鮮新世に属することは,図3 に示す鮮新統がメッシニア階に,構造変化を伴わず続 く,ガッブロ(トスカーナ州)の地盤工学的層序 (Mortari, 2010より)を見ることで確認できる (Aldinucci et al., 2004; Riforgiato et al., 2011). こ のように,2つの期の間の境界では,先行圧密の値が より低い値に移行するというパラドックスが見られる が,さらにこれは重力の影響ではないことを示してい る.

270Ka 前のティレニアンの始まりから 5Ma 前の最 下部鮮新世の始まりまでの間に,7つの異なるpcの値 が同定され,それぞれの値がひとつずつの年代に対応 すると仮定すると,各年代の平均的な長さは約 0.7Ma と推定できる.

一つの期の厚さ全体に対するpc 値の一定性は, こ のパラメーターが依存するのは重力圧力ではなく, 別 の地球物理学的場の力による圧力であることを示唆し ており, 冒頭で述べたように, これらの圧力を固体地 球に存在する電場に帰することができる.



図3-イタリア,トスカーナ州ガブロ (Gabbro) のメッシニア期と下部鮮新世粘土の地質層序.イ タリア.先行圧密の値pcは,重力ではなく,固体 地球の電場に属する力によるもの. Mortari, 2010より.

最終氷期後の細粒堆積物において,鮮新-更新世の 粘土と厳密に類似した状況が発見された.テベレデル 夕河口から 8km の地点にある堆積物の連続コアドリ ルで採取した試料から,図4のp。値が得られた (Mortari et al., 1979; Mortari, 1997, 2010).

炭素14年代測定により,約2,500年間の堆積物サイ クルを認識することができ,その中にはそれぞれpc値 が一定になる傾向のある2つの間隔がある.この調査 の地盤工学データは,他の調査のデータと合わせて表 1にまとめられており,pcの値に加えて,最近の粘土 の続成作用の歴史に重要な,他のパラメータも示して いる(Mortari, 2010より).

これらの最新のデータで注目すべきは、最近の堆積

表1-地盤力学的特性に基づく最近の粘土質堆積物 の年代層序学的細分.先行圧密 pc に加えて,非排 水凝集度 cu, 含水率 w,密度 y の概算値も考慮さ れる.これらのレベルは経時的に固定されたもので はなく,2,528年という一定の期間で固定されたも のである.データはMortari,2010 より.[訳注:表 の年代 (Ka) は,10倍にすると本文と一致する]

Level	age (Ka)	w (%)	n (%)	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	c <sub>u</sub> ((Kg/cm <sup>2</sup> )	p <sub>e</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	
1	0-0.25	90	73	1.40	0.09-1.12	0.25-0.35	
2	0.25-0.5	70	66	1.57	0.18-0.20	0.5-0.8	
3	0.5-0.75	50	57	1.72	0.28-0.35	1.2-1.8	
4	0.75-1.0	35	49	1.85	0.6-0.9	2.4-3.2	
5	1.0-1.25	30	45	1.92		3.9-5.2	
6	1.25-1.5	28	44	1.94		5,5	



図4-テベレ川デルタの後氷期堆積物の地盤層 序.pcは原位置での有効圧力.点は先行圧密 pcを示している.pcは最初の5mより下で は、基本的に一定の値を示しており、急激な変 化と交互に変化する.po線から左に大幅にず れているポイントは、採取中にサンプルが再成 形されたことによる.本文中に他の説明. Mortari, 2010より.

物で発見されたpc の最大値が5.5kg/cm<sup>2</sup>という事実で あり,これは上部更新統の細粒堆積物によって示され る値と同じである.つまり,もしその調査でもっと深 いところの堆積物を分析していたら,5.5kg/cm<sup>2</sup>程度 の値しか出てこなかったことを意味する.これは,過 去12,500年の堆積物の不連続な発達が,この境界値 をもたらしたと言っているようなものである.しか し,別の考察も浮かび上がる.次の2.5Kaのサイクル で堆積する堆積物は,現在のサイクルで見られる約 0.25kg/cm<sup>2</sup>と次に 0.5kg/cm<sup>2</sup>のpc の同じ値を示さな ければならない.

2.5Kaサイクルの終わりに近づいているので、現在 0.25 kg/cm<sup>2</sup> のpc をもっている堆積物は、下にあるも のに対して0.25kg/cm<sup>2</sup>の値を生成し、すぐに大きな 値, つまり0.5kg/cm<sup>2</sup>を仮定するだろう. 一定のpc 値 をもつ各セクションは,現在5.2kg/cm<sup>2</sup>をもっている 10-12.5 Kaの値が5.5kg/cm<sup>2</sup>になるまで、下にあるセ クションの値を仮定する。pc値を変更するすべての特 性は、含水量を含む他の地盤工学的特性も変更する。 その結果、pcの変更は、すべての土壌の厚さのかなり の圧密が含まれ、表面は数メートル低くなり、急速な 沈下の現象に直面する. 最初は非常に速く, その後 徐々に遅くなるという特殊性がある (Mortari,1977). 現在の 2500 年周期では、この現象は2度発生した. 一度はほんの最初,2度目は約240年後,海面の低下 と同時に発生した.これは、次の章で見るように、 2.5Ka 未満の周期の存在を示している (Mortari,



図 5 – ティレニア大海進(G T T)プロファイル. 間隔A,B,C等は 41Ka 周期を示す. Mortari,2020より.

2020を参照).

この現象の最も優れた記録は、紀元前510年に放棄 されたイタリアのカラブリア州のシバリス遺跡の歴史 から来る。紀元前291年には、同じ場所に建設された トィリイの都市も放棄された. トィリイの終了後, 紀 元前193年にローマ人は、新しい都市コピアを建設し たが、この都市は決して沈下することはなかった。同 じ現象がローマで研究されており、ラルゴ・ディ・トー レ・アルゼンティーナの神聖な地域で、最古の考古学 的計画は紀元前300年に言及されている。次の2世紀 にわたって、2つの埋め戻しが必要であった。最初の 1.4mと2番目の0.6mは、2階の床の高さに相当する (Mortari, 2010). エジプトのアレキサンドリアは, 紀 元前331年頃にアレキサンダー大王によって建設され たが、ナイル川河口の砂地の上に建っているところで は、大きな沈下は見られなかったのに、粘土の上に建 てられた部分は数メートル沈下した。スペインのタル テッソスは、紀元前6世紀にグアダルキビル川の河口 にある粘土質の柔らかいラグーン土壌に建てられたも ので、紀元前500年ころに姿を消し、現在も発見され ていない。イタリアでは、紀元前6世紀末にポー川の デルタ地帯に建設され、おそらく3世紀に再建された エトルリアのスピナが、埋め立て地の発掘中に偶然発 見された.

この急激な沈下現象は、固体地球に電場が存在する ことの第二の証明である.それは、さまざまなシグナ ルで、現在の2.5Ka周期の終わりに再び現れるだろ う.これがいつ起こるかについての予測は、問題のサ イクルの期間がより正確に述べられたため、変更され た.歴史的に紀元前510年に与えられている.過去数 年間、予測は異なる結果で試みられてきたが、その都 度,周期の長さを確定する試みが行われ,周期の始ま りが紀元前510年に起こったことだけは確かであっ た.この周期の長さは,後で説明するように,2,424 年 (Mortari, 1972)から2528年 (Mortari, 2020) になった.

#### 海水準の周期的な変化

粘土の固結とは異なり,海面の変動は固体地球に電 場が存在することを直接的に証明するものではない が,多くの現象が発生する周期性に関するより詳細な 情報を提供し,その理解が電場の起源を明らかにする ための基礎となる.これらの現象の主なものは,ティ レニア期の始まりを特徴づけるもののように大海進に よってもたらされる.

Mortari (2010, 2020) で記述され,図5に示されて いるティレニア大海進 (Great Transgression of the Tyrrhenian:GTT) は,海面の変化が起こる次の3つ の特定の条件のおかげで,4再構成された.1)急激な 変化があり,その後に長い静止状態が続く,2)変化 は周期的であり,3) 正確に決定された最も重要な周 期の長さは2,528年である.この値は一定であると考 えられていたが,この順序の現在の周期は,少なくと も紀元前510年にギリシャの植民地であるシバリスが 海中に沈んで放棄されたときに始まり,それ以来 2,528年以上も新しい周期が始まる気配がないままに 経過している.

海水準の研究により、表2に主に示されている他の 周期を特定することが可能になった。0.5年未満のも のは報告されていない。第3列には関連する現象が、 第2列にはさまざまな長さの関係がある。

表2の周期は,報告されている最短の0.5016年 (Mortari, 2020) を正確に決定した後に再計算した. 表では,ほとんどの周期の比率は小数だが,固定では なく,小さな周期の数を含んでおり,したがって,期 間は定数ではない.2.5Ka周期は,その重要性を強調 するために太字で区別されている.さまざまな現象を

Page 257

表2–海面の変化周期とその属性,およびそれを 認識できる典型的な事象との関係.

Duration	Ratio	Phenomena involved
2879 Ma?		Mineralization, Glaciations, Transgressions
179.9 Ma	16?	Orogeny, Transgressions
11.015 Ma	16.33	Transgressions, Clay diagenesis
674.4 Ka	16.33	Glaciations, Transgressions, Clay diagenesis
41.29 Ka	16.33	Glacial episodes, Sea levels, Obliquity of the Earth's axis
2528 a	16.33	Quick subsidence, Ice sheet volumes, Sea levels
158.0 a	16	Sea levels, Diameter of the Sun, Quick subsidence
10.53 a	15	Sea levels, Sun activity
0.5016 a	21	Sea levels

支配していることがわかっている. それは, Denton とPorter (1970) が指摘しているように, 氷河の拡 大・縮小の研究で明らかになった. さらに同じ周期性 が, グリーンランドのキャンプセンチュリー酸素同位 体曲線 (Dansgaard et al. 1971), 深海の浮遊性有 孔虫 (Schnitker, 1980) や, 古気候指標として用い られている浮遊性有孔虫 (Pestiaux et al., 1988) の 動物構成のリズミカルな変動にも示されている. ま た, Blytt (1876) とSernander (1894) のスキームに 基づいた北ヨーロッパの気候周期 (the climatic periods) が花粉研究によって認識されている. ドイ ツ西部アイフェル地域の氷縞 (varve) 数に基づいた 年表を利用して, Zolitschka (1986)は, これらの期間 の始まりを2,500年・5,000年・7,500年・10,000年 前に置いた.

41Kaのサイクル期間は一定ではないが,2.5Kaの周 期が16+17+16=49回規則的に形成されてできる 123,875年のスーパーサイクルと同様である.最近の 後氷期の海面上昇の開始とGTTの開始の間に,これら のスーパーサイクルがちょうど2つあり,これにより GTTの開始年代の決定が容易になったことに注意する 必要がある.41Ka周期は,それが海水準の最も単純 な時間構造を支配した,最新の海進を示す図6におい てとくに明白である.それらは氷河の拡大と一般的に 結びつくエピソードであり,海面が現在のような定常 状態に比較して,最初に海退しその後回復することで 識別される.これは,海進の反対であり,過去に受け たことのない特別な注意をはらう価値がある.そのた めに"シスグレッション(海退)"(cisgression)と いう用語を使用することが提案されている.

図6に示されているシスグレッション(海退)のう ち,最新のシスグレッション(海退)だけが,北半球 のモレーンの前進・停止と同期している水没段丘デー タ(Mortari, 2010, 2017)を用いて正確に定義する ことができた.したがって,最後のシスグレッション (海退)全体は、ウルム氷期IIIのエピソードを記して いる.

図6の大文字は41Kaの最後の3周期を示している. 生物指標や鍾乳石・石筍の年代は、約170Ka前まで の海面変動のグラフを明確化し、負の海面を定義す るために用いた.

強調したいのは、海進直前の-200mの静止点(図 5)は、シチリア期末に海水準が最も低い位置に到達 したことを表している可能性が高く、リス氷期の最寒 冷時に対応しているということである.この結論は、 ウルム氷期W1、W2、W3を表すティレニア海進の氷 期エピソード間に、現代の終わりまで約670-



図6-GTTの最新部分.アスタリスクと黒丸 は、水中で採集された海洋化石と二次生成物の、 それぞれ年代と海水準を示す.

270=400Ka続く運命にある気候低下傾向があるよう に見える観察結果から得られる.したがって,鮮新世 -更新世の海進前には,非常に寒冷化した時期があっ たと考えられる.

ミランコビッチが想定したように、これらのシスグ レッション(海退)を、一連の天文学的な組み合わせ に由来する気候効果だけに帰することを続けるのは、 間違いであろう.実際、太陽エネルギーのさまざまな 緯度での分布の仕方に、氷の形成が依存しているとい うのは、完全には真実ではない.これは、最終氷期エ ピソード間に、氷が両極と赤道の両方で同時に形成さ れた、という事実によって証明される.ケニアのキリ マンジャロ山 (Rosquist, 1990)とパプアニューギニ アのジルーウェ山 (Barrows et al., 2011)の氷に関す る研究を参照せよ.もし、これらの極端な条件ですべ ての氷床が同時代にあった場合、説明はひとつしかな い.つまり、寒冷最高頂期間、太陽が放出するエネル ギーが少なくなっていたということである.

したがって、太陽は一定の輝度をもたず、約10.5年 の周期だけでなく、エネルギーフラックス(the energy flux)の平均密度の測定に現れた約10日の周 期も地球の現象と共有している(Froelich et al., 1997).一方、80年周期(160aの半分)では、太陽の 直径変化 (Parkinson et al., 1980) とほぼ10年周期間 の変動 (Friis-Christensen and Lassen, 1991)の両方 をもたらした.さらに、GTTによって示されているよ うに、大陸地域で形成された氷の量が、海洋の最大の ユースタティック変動の主因であると考えるのも、ま た誤りであろう.

2.5Ka未満の周期には、不規則な継続時間がすべて にある.そのため、平均183日の0.5年周期は143日と 235日の間で変動し、平均10.7日の21サイクルで形成 されているが,実際にはこれら2つの周期の継続期間 の比率は14~23の間で変動している(Mortari, 2010).

41 Kaの周期が主にシスグレッション(海退)に よって特徴づけられるのに対して,0.7Maの周期はよ り複雑な構造をもっており,後期更新世で見られるよ うに,常に大きな海進から始まる(これが確定すべき 仮説だとしても). この仮説は2つの理由に基づいて いる.ひとつ目は,後期更新世だけがこのような特権 をもっていた可能性はまったくないと思われること, 2つ目の理由は,数年前まで,海進の痕跡が認識され ていなかった場合に,一部ではないにせよ通常の観測 から逃れられるということを意味するからである. こ の最後の2つの継続期間の関係について言われてきた ことについては,0.7Maの周期長が必ずしも同じとは 限らない.

Haq (2014) は、いくつかのケースでこの順序のサ イクルの存在を認識している.彼は、セノマニアート ロニアン (the Cenomanian-Turonian) 海進のちょ うどピークである93.8~91.8Maの間に、3つの小さな 海進を確認したことは重要だが、GTTが示唆するもの とは異なり、これらの海面変動はゆっくりと始まり、 非常に急速に終了した.

GTTが明らかにしたように,海面の大きな変動は, 部分的にではないにしても,もはや氷の融解に起因さ せることができないため,私達は,シスグレッション (海退)についても,同じタイプの推論が有効である 可能性を考えなければならない.

継続時間が0.7Maを超える周期の場合,その不規則 性が減少する.これはより長い周期にも当てはまるか もしれない.2.5Kaの16,17,16サイクルで構成され る41Kaのサイクルと同様に,0.67Maのサイクルは 41Kaの16,17,16サイクルで構成される可能性があ る.表3では,第1列にこれらのサイクルの平均期間 0.67Ma と相対倍数を,第2列にはGTT開始時の 0.2705Maを加えた値を示しており,A'列は,我々が4 次と呼ぶことができるこれらの海進の理論的な開始を 与える.

3番目の列は、11Maの周期の理論的倍数を示してお り、次の列では、私たちがまもなく見るように、これ らの周期の中で最も新しい周期の開始日の5.00Maが これらの値に追加されている. さらに下の列には、 以前の海進の理論的な開始日が示され、3次と呼べ る.新生代では、多くの時代がこの順の海進から始 まった. ランギアン、アキタニアン、プリアボニア ン、ルテティアン、サネティアンである. このよう 表 3 - 奇数列: 4次, 3次, 2次, 1次 (A, B, C,

D)の海進が、その倍数で発生するサイクル期間 (太字).偶数列:最近の出来事とそれに先立つ 同じ順序の出来事の年代(イタリック).

A (Ma)	A' (Ma)	B (Ma)	B' (Ma)	C (Ma)	C' (Ma)	D (Ma)	D' (Ma)
0	0.2705	0	5.00	0	93.12		1712
0.6744	0.9499	11.015	16.01	90	183	2879 ?	4591
1.3488	1.6243	22.03	27.03	180	273		-
2.0232	2.2987	33.04	38.04	270	363		
2.6976	2.9731	44.06	49.06	360	453		
3.372	3.6475	55.07	60.07	450	543		
4.0464	4.3219	66.09	71.09	540	633		
4.7208	4.9963	77.10	82.10	630	723		
		88.12	93.12	720	813		
	-	99.14	104.1	810	903	1	1
	×	110.15	115.2	900	993		
	0	121.16	126.2	990	1083		1
		132.18	137.2	1080	1173	1	
		143.19	148.2	1170	1263		
	1	154.21	159.2	1260	1353		
		165.22	170.2	1350	1443		1
		176.24	181.2	1440	1533		
	-	187.25	192,3	1530	1623	1	1
	×	198.27	203.3	1619	1712		5
	-	209.28	214.3				
		220.30	225.3	1			1
		231.31	236.3				

に、これらの時代の始まりは、多くの堆積サイクルの 始まりに対応している.

最新の11Ma周期の始まりは、中新世と鮮新世の間 の短い時間間隔の中で、同時に起こった並外れた出来 事によって示される。そのひとつは、ガブロ (Gabbro) における粘土の続成作用の逆転であり (図5参照),上にみられる鮮新世の粘土より、メッ シニアン期の粘土の固結が弱い。2つめの事象は 5.59Maからメッシニア紀の終わり(5.332 Ma)まで の間に、地中海が大西洋から隔離されたために起こっ た塩分危機である(Krijgman et al, 1999). この孤 立は、一般的に2つの要因の同時発生に起因する。す なわち、大西洋の氷河性海水準低下と、ジブラルタル 境界(より正確には最大深度 -324m が近くにあるた め、カマリン境界とよばれる)の一時的な地殻変動に よる上昇である。 地殻変動の介入が海面低下に重ね合 わされなければならない理由は、200mを超える氷河 性の低下に到達することは不可能である、という一般 的な考えに対応している. Haq et al. (1987) による と、当時の5Maの海面は現在の海面より50mしか下 がっていない.

van Couvering at al. (2000) が提案した 5.332 Ma の中新世と鮮新世の間の限界の年齢は,国際層位学委 員会によって正式に受け入れられたが,この値はここ に示された値よりもかなり高く,もし修正された場合 には,すでに議論されている限界を疑問視することに なる.表3で採用されている 5.0Ma の値は,5つの鮮 新世+2つの更新世+後期更新世の長さを足した計算 から導き出されている,つまり,674.4Ka+270.5Ka の7サイクル. 674.4Ka の6サイクルで4.046.4Kaが生 成され、これに 0.7 Ma の7番目のサイクルを追加す る必要がある。これは、41.29Ka の16サイクルまた は17サイクルのどちらで形成されるかに応じて、 660.6Ka または701.9Kaになる。合計で4,977Kaまた は5,019Kaというのは、公式の値からは明らかにかけ 離れている。4,996Ma(訳者註:4.996Kaの間違い か)の平均値は 5.00Ma に近似していた。180 Ma の 周期に来ると、これらの周期を最も特徴づける地質学 的現象は, Salop (1983) が強調したように造山運動 である。彼は過去3.7Gaに定期的に分布する、平均も 続時間176Ma の21の相を再構築した。このサイクル の存在は, Fairbridge and Sanders (1977) が、太 陽系の重心の周りの太陽の動きの178-180Maの周期 性を引用しているように、天文学の分野でも確認され てる.

ここでは, Haq (1987) やHallam (1984) が図7に まとめたような, カンブリア紀の直前までの長いスパ ンの海面変動曲線を調べることから始めよう. 180Ma 周期の中で最も近い代表的な出来事は, セノ マニアン期のいわゆる大海進であるかもしれない. こ れは Damon (1971) よりの図8の表現にみられるよう に, 北米を示す.

公式の層序では、セノマニアン期は93~94Maで終わり、海進の多くはこの時代の最後に起こるが、高潮 期は Haq (2014) によってチューロニアン期の最初 の部分に置かれ、今では 実際には、図のように今日 より250m高いところにあったのではなく、1,000m も高かったことが分かる.これらの解明は、次のよう な考察につながるはずである.もし、海進が堆積サイ クルとさまざまな年代層序的な期の両方の始まりを特 徴づけるならば、この海進は次の期の始まりに置かれ るべきであり、したがって、我々は大チューロニアン 海進について言及すべきである.

図7においてもう一つの海面の非常に高かった位置 を見つけるためには、約450Maに遡る必要がある が、ここでの周期はわれわれが探していた周期の2倍 の長さで現れていることを示している.実際、セノマ ニアン期のピークからいつもの1周期遡ると、もうひ とつの主要な最大値ではなく、ペルム紀の極小値 250Ma に遭遇する.そして、251Ma に最大規模の洪 水玄武岩トラップ(the flood basalt traps)があった ことは、単純な偶然の一致ではない.

ペルム紀の極小値は、メッシニアン期の場合と強い 類似性がある.実際、中央ヨーロッパではゼヒシュタ イン (Zechstein) と呼ばれているペルム紀末期で は、寒冷で乾燥した気候条件だけでなく、海から隔離 された地域もここで発達し、プロイセンのシュタース フルト (Stassfurt, Prussia)のように蒸発岩が堆積 し、岩塩として定着する.それ以来、鮮新世へ移行す る際に起こったことと同様に、三畳紀では気候が暑く なるので、相関はさらに強くなる.表の273Maの値 と年代層序スケールに帰属する値の間の違いは、おそ らくサイクル期間に顕著な不規則性があることを示し ている.

この場合も、メッシニアン期の場合と同様に、海面 がわずか50m下がっただけである.このように、多く の研究者が、例えば白亜紀の間に、海面が大きく上昇 したとしていることがわかる.そして、彼らは100Ma 頃には270m、シルル紀では450mレベルまで上昇さ せるが、漸新世では-200m(Vail et al, 1977)、ペル ム紀では50m(Hallam、1984)まで低下させる.し たがって、我々はシスグレッション(海退)があまり 考慮されていないという印象をあらたにする.

最後に、約2.9Ga (表2参照)のサイクルがある. このサイクルに関連することができる最も重要なイベ ントは、広く深遠な性質のものであり、惑星のテクト ニクスを含む. Runcorn (1962)は、1.8Gaの前は地 殻の厚さが増す一方、1.8Gaの後は地殻の動きは主に 水平であり、プレートテクトニクスが優勢であり、大 陸の増加と一般に大陸と海洋間の相互作用が新期の岩 石の側方付加によって発生したことを認識した.

同時に、縞状鉄鉱層や新期の地殻岩石、富鉱化帯の



図8-中生代から新生代にかけての北米大陸上の海 の広がり. Damon (1971) を改変.

生成に顕著な変化があった. これは, 縞状鉄鉱層の出 現頻度の増加や,約1.8Gaに極大に達する岩石・鉱物 の年代を決定したEichler (1976)のデータからわか る. さらに,極小値は,前者より明らかに,すぐに約 1.6Ga に達した. 始生代と原生代間の境界は,これら 2つの値の間に,より正確には180Maのサイクルが始 まる時期に,置かれることが提案されている (Mortari, 2010).表3のデータでは,これは93Ma よりも9周期前に起こる. すなわち 93+(9×179.9)=93+1619=1712 Ma.

前者の2.9 Maサイクルの終わりに向かって, 2.7Ga と2.0Gaの間に, fa Harland (1981) とGoodwin (1996) は,最古の氷河の痕跡をトレースしていること に注意.直近のものを見つけるには,約1Ga さかの ぼらなければならない.これまでのところ,我々は低 海面と氷河作用の組み合わせを追跡し,それをリス氷 期(第4サイクル)に見出した.その後,同様のこと が起こり,ペルム紀後期(苦灰統)の乾燥した寒冷気 候から温暖な三畳紀に移行した.

したがって,始生代は1,712Ma+2,879Ma =4,591Ma前から始まったことになる.この値と隕石 年代の値,とくに4,566Maのアジェンデ隕石の値 (Allègre et al., 1995; Amelin and Krot, 2007) との 間に大きな違いはなく,これはまた地球の年齢に対応 しているはずである.これは単純な偶然の一致ではな いと筆者は信じている.

#### 地球の体積変化

ティレニア海進期に生じた大規模海水準変動を説明 する最も簡単な方法は、たとえば海嶺に沿う海洋底で 起こった隆起に起因するものだが、この仮説は、イー スター島やポリネシア諸島で見られたように、海岸線 の同様の連続が大陸縁や海洋中央部の両者に沿って見 られるという事実と矛盾する (Mortari, 2010, 2017).

したがって、地球の大きさの変化、とくに、プレー トテクトニクスで大陸地殻よりもはるかに多くの海洋 底が大規模な収縮と膨張を受けるとされている海洋地 殻全体の表面が変化することを考える必要がある.地 球がどのようにして体積を変化させることができるの かを自問自答する前に、GTTが起こるためにはどの程 度の体積変化が必要なのかを見てみよう.

半径がどの程度変化するかは、次のように求めた:

 地球の表面高度が平均してどのように変化するか を説明する累積標高曲線では、約800mを中間値 としている。このことはGTTの最大期間を通し て、陸地の半分だけが平均水深約500mの海に沈 水していたことを意味する;

それは、すべての大陸が、水深約250m(約 149×106×0.25=35×106 Km<sup>3</sup>の体積に相当)に 水没したと言っているようなものだ.

- この値は海洋に存在する水の初期体積 (1,347×106Km<sup>3</sup>)から差し引き,得られた体積 を海洋域で到達した最大平均厚さ (3,711+822=4,533m)で割ったものである.し たがって、減少した海洋表面積は1,312×106/ 4.5=292×106Km<sup>2</sup>となる.
- この値を変化していないと考えられる大陸の面積 (149×106Km<sup>2</sup>)に加えると、地球の総面積は現 在の 510×106Km<sup>2</sup>から149+292=441×106Km に減少したように見える。
- 4. ここから,半径5,921Km, 6,371-5,921=450Km に減少するが,これは -7%に相当する.

この結果は、まず我々にこのような結果を生じる原 因を考えさせる:重力係数Gの大幅な変化だけが、そ の結果を生み出すことができる.しかし、この結果 は、地球を構成する物質がGの増加によって大きく圧 縮されることはないという一般的な考え方とは一致せ ず、重力が非常に大きく増加しても、地球を構成する 物質の密度への影響は非常に小さいはずであるという 暗黙の結果となっている.

#### 地震の不連続性

この信念は,地球物理学者によって見出された主要 な不連続性,すなわち深さ 413,660,2,700,2,890, 5,144 Km で,密度の増加に対応する地震波速度の急 激な増加がもっぱら物質の化学変化に依存する,とさ れていた時からずっと正しいとされてきた.このよう に説明し続けられてきた唯一の主要な不連続は,外核 と内核の間にある Lehmann 不連続である.その理由 は,内核の組成は鉄隕石の組成と同じであると,一般 的に受け入れられ共有されてきたからである.この特 別な存在を最もよく確認できるのは水星で,そこでは 体積の 85 % 近くを鉄とニッケルのコアが占めている と考えられている.

ダイヤモンドの鉄床セル (diamond anvil cells) で 得られる高圧・高温を用いると,深さ413,660, 2,700Kmにかかる圧力では,明瞭な相転移に関連し て,いくつかの鉱物の結晶構造の崩壊が起こることが 観測されてきた.413,669Kmの地震の不連続を特徴 づける13,23.5GPa の圧力のもとでは,カンラン石 はまず wadsleyite に変化し,その後,ペロブスカイ トとみられる構造へ順次崩壊していく (Hellfrich and Wood, 2001; Chudinovkikh and Boehler, 2001). 最も問題のある不連続はグーテンベルク不連続で, 9.9-5.7=4.2 g/cm<sup>3</sup>の密度の飛躍があり,これは上で みられたものよりもはるかに大きい.代わりに Lehmann不連続では,接触している2つの部分が再び 約12.2から12.8g/cm<sup>3</sup>の低密度変化を示している.明 らかに2つの可能性がある:ひとつは2,890Kmで物質 の化学的性質が変化すること,もうひとつは物理的状 態の何かが起こることである.

Suess (1909) と Goldschmidt (1922) によると, 外核も内核と同じように鉄で構成され,密度のわずか な違いは,鉄と一緒に少なくとも別の軽い元素が存在 することで説明できるとしている. Suessは外核が鉄 とマグネシウムのケイ酸塩 (Fesima) で構成されてい ると考え,一方 Goldschmidt は硫黄で軽くなった鉄 の存在 (Osol) を考えた.

なぜ二人の著者は、外核は主に鉄でできていると考 えたのであろうか?このような考えが生まれた歴史的 瞬間(外核は鉄を超えた何かで軽くなっている)に は、鉄の歴史はまだ超新星爆発の中で鉄が重要な役割 を果たしているという意味では豊かになっていなかっ た.しかし1950年代になると、星の核における核融 合の役割が科学界では当たり前になり、太陽系の起源 の基本的な知識のすべてが変わらなければならなく なった.しかし、どうやらそうはならなかったよう だ.そしてそれは、外核の鉄をどうやって軽くする か、という議論が今でも行われていることからもわか る.

もし Suess と Goldschmidt が,鉄族の恒星融合が 星を爆発させることを知っていたとしたら,少しのNi とCoが加わった鉄が,星雲から集まったダストの残 渣と混ざらなかった重さのために,地球の最内核で再 結合したとは考えられなくなっていただろう.これに 付け加えなければならないのは,太陽は星雲の中心部 で92%の重量のHとHeを含んで形成されたが,高密度 の物質で形成された惑星はその外側の部分で形成され たであろう,ということを受け入れるのは容易ではな い.

そして私たちは、なぜ惑星系の歴史が始まったばか りの頃に、2つの惑星(ひとつは火星と木星の軌道の 間にあるAster、もうひとつは海王星の軌道を越えた ところにあるComと呼ぶ)が砕け散り、小惑星と彗 星が生まれたのかを自ら問うことはなかった.このよ うなことが後に何も起こらなかったとしたら、そのふ たつの大変動はどのようにして起こったのだろうか? 何と衝突したのだろうか? も前に爆発したのではなく、太陽がすでにしばらくの 間存在していた間に、惑星系だけが形成される前に爆 発したと想定すれば、すべてが合致するだろう. Georges Louis Leclerc (Buffon 伯爵)は、彗星が太 陽に衝突して、太陽の別の塊が切り離されたために惑 星が誕生したのではないか、と考えていた. Suessと Goldschmidtの時代には、超新星爆発について何も知 られていなかった. Buffonの時代を考えてみれば、彼 は彗星を、空を横切る厄介者としか理解していなかっ たが、それは仕方なかった.そして、彼のアイデアは 素晴らしいものだったが、現代の宇宙物理学者たち は、超新星についての無知と、地味な彗星がさまざま な惑星の起源になったと想像することの滑稽さから、 彼を決して容赦しなかった.

逆に、Buffonが提案したことを真面目に考え、彼の 考えの要素を更新すると、太陽から適度な距離にある Asteri と呼ばれる非常に大きな星が、それとともに連 星系を形成していたことが想像できる.Asteriが超新 星として爆発したとき、それを構成する物質が周囲に 散らばり、鉄族の元素からなる巨大な塊のシャワーが 太陽を直撃した.いくつかの塊は太陽表面に大きな角 度で衝突し合体したが、非常に低角度で太陽表面に衝 突し、最初の接触で断片化したに違いないものがあっ た;その破片ははね返ったが、太陽物質の一部がいく つかの惑星から切り離されて、それらの周りの軌道に 入っている間に、太陽物質に包まれ、ほぼ共面軌道 (coplanar orbits) に入った.

鉄ーニッケルの大きな塊の雨はしばらく続き,なん とかAsterとComという2つの惑星にぶつかり,それ が砕けてそれぞれ小惑星と彗星を形成した(最大の岩 石と氷の破片は冥王星と呼ばれた).代わりに第3の塊 が火星に低角でぶつかり,この惑星の表層部の破片を 飛び散らせ,それがまた地球に到達し,Shergottites などと呼ばれるようになった.

内核物質が菱鉄鉱 (siderites) と融合することがで きるならば, 隕石 (aeroliths) と菱鉄鉱の中間的であ るにもかかわらず, その壊れた構造が示しているよう に, 2つの剛体どうしの衝突の結果である外核物質は 菱鉄鉱のそれと比較することはできない (Suessに影 響を与えた可能性がある). 地球の場合には, そうで はなかった. このことが, マントルの性質は隕石と似 ており, 外核は他の太陽物質で構成され得る理由であ る.

小惑星は地球と同じではなく、より小さく、推定半 径 3,000km, その3分の1は核によるものであった. それは隕石に代表されるペリドタイト質のSimaマント ルと菱鉄鉱に代表されるNife核をもっているが、地球

星雲を誕生させた超新星が、太陽系全体の起源より

のようにFe-Ni核とSi-Mgマントルの間にある物質を もっておらず、これからみるように、超塩基性物質で 構成されているはずである.すべての惑星が固有の組 成をもつ傾向があることを示すために、氷とケイ酸塩 の岩石が混ざってできた第二の崩壊惑星Comの場合を 考えてみよう.岩石部分を構成する鉱物の中には、カ ンラン石と炭酸塩がある.

それでは、2,890Kmでの密度の大きな飛躍をどの ように説明するのか? 413Kmと660Kmで起こる密 度の増加(3.5から3.8g/cm<sup>3</sup>, 4.0から4.5g/cm<sup>3</sup>, そ れぞれ0.3と0.5g/cm<sup>3</sup>)はわずかで、2,700Kmでは さらに小さくなっているが、2,890Kmでは一桁大き い.

このことから、ここでは分子構造の圧縮が起こった のではなく、原子構造レベルでの崩壊が起こったので はないかと考えることができる.さらに、多くの元素 がもつ原子半径とイオン半径の大きな差を正すために は、電子を失うことでしかできない.すべての元素が 最外殻電子を失ったと仮定すべきではないが;おそら く、このことは酸素やマグネシウムのような一部の元 素でしか起らないのであろう.

それでは、443、660、2,890Kmの不連続が、GTT を通して450Km の半径の減少にどのように寄与した のかを見てみよう.Gが1%増加したと仮定してみよ う.不連続の位置はある圧力値に規制されているの で、最初の2つは約13と23.5GPa、3つ目は120または 125GPaで、1%のGの増加は最初の面を 46.3Km、2 つ目の面を48.0Km上に移動することになる;カンラ ン石と wadsleyite の相転移が起こるので、2つの位置 の間にある物質は圧縮されるはずで、その結果、3.7 と5.3Kmの減少が起こる.そうすると、収縮の合計は 9Kmになり、これはなるべき値の1/50になる.もし 最初の2つの不連続だけが作用し始めるならば、Gは 50%大きくならなければならず、非常に高い値とな る.

第三の不連続を加えて、どのようになっているか見 てみよう.1%のGの増加は、ここで25Kmよりも高い 変位を生じ、関係する厚さの減少は25×5.7/ 9.9=14.4Kmになる.他の2つの地平線の収縮を加え ると、1%の増加は地球の半径を14.4+9=23.4Km減少 させることになる.450Kmの収縮に到達するために 必要なGの増加は約19%であり、最初の2つの不連続 だけは、以前得られた値よりもはるかに合理的な値に なる.

第三の不連続を加えて、どのようになっているか見 てみよう.1%のGの増加は、ここで25Kmよりも高 い変位を生じ,関係する厚さの減少は25×5.7/ 9.9=14.4Kmになる.他の2つの地平線の収縮を加え ると、1%の増加は地球の半径を14.4+9=23.4Km減少 させることになる.450Kmの収縮に到達するため に、必要なGの増加は約19%であり、最初の2つの不 連続だけは、以前得られた値よりもはるかに合理的な 値になる.

異なる不連続での物質の収縮に由来する影響はどれ か.最初の2つについては,密度の増加に伴う2つの物 質の大きな厚さの圧縮は,重力エネルギーの熱エネル ギーへの変換をもたらすに違いない.したがって,地 球の内部熱は,もはやはるか昔の太陽系形成からの遺 産ではないだろう.また,放射性物質は,クラトン地 域でははるかに豊富であるのに対し,海洋地域ではこ れまでのところ熱流量が最大であるという,大きな不 調和を煽ってきた放射性物質の寄与を減らすこともで きる.

この推論の裏付けとなるのは,暖かい地域に棲む "セネガル動物相"が地中海に到着したのが約123Ka 前,つまりGTTの開始から約150Ka後で,熱流が水深 400Kmから地表に到達するための遅延時間としては 妥当な時間である.実際,何人かの著者によると, MIS 5 の131Ka (Cita et al., 2006)に対応する後期更 新世の開始は,純粋気候学的な解釈では,この時点か らである.

第三の不連続については,重力エネルギーは外核に 加えられた物質をある程度の電離状態にするのに利用 され,その結果,私たちが知っているように,その要 素間の反発力が増加し,せん断波を伝播しない外核の 流体的挙動の一因となろう.

このようにして、地球は二三の誘電体をもつ大きな 球状のコンデンサーのようなものになる:気圏,水圏 (海洋や湖沼地域として存在),固体地球である.球 体の内側は、外核とは分離し、主にその中に拡散した 正電荷に引き付けられたままになっている電子による 負の電荷をもつ、マントル基底として表れるだろう. 球体の外側は、正の電荷をもつ電離層基底のままにな る.

したがって、ティレニア期初期の地球の収縮によ り、多数の電子がグーテンベルク不連続面の旧・新の 位置にあった物質から取り除かれた;その電子が移動 する前にとくに濃集したところでは、マントルと地殻 からなる誘電体に穴が空き、その前兆として作用した これらの電子につづき、その深さからのマグマの上昇 があったのかもしれない、次章で述べるように、この 電子の高密度化とその影響は、場合によっては、適切 な条件が存在するより浅いところから始まった可能性 も否定できない.

#### イタリア, Alban丘陵, Latiumの火山

Alban丘陵の火山は, ローマの南東25kmにそびえ 立つ. その歴史はGTTの歴史と絡み合っており, 固体 地球に電場が存在することをさらに証明している. 問 題の火山は, 0.7~0.6 Ma 前に形成されたハイパーア ルカリ塩基性マグマ構造である (Evernden and Curtis, 1975; Voltaggio and Barbieri, 1995; Marra et al., 2009). Fornaseri et al. (1963), Locardi et al. (1975), De Rita et al. (1988, 1995) の貢献を踏まえ ると, その歴史を3つの段階に分けて図式化すること ができる:

第 I 時相あるいは Tuscolano - Artemisio (TA) 時 相は,最大50Km<sup>3</sup>の体積のイグニンブライト噴出を伴 う大規模な噴火で特徴づけられる.このうち最初の2 つは,561と520Ka (Karner et al., 2001)で,41Ka の間隔である.最後の噴出は,Villa Senni (VS) 凝灰 岩を生み出したもので,年代は355 Ka,前回の520-355=16 Ka からは41Kaの4倍の時間があり,図5の 355-273=82Kaの海進に先立つ最頂期 (cisgressive peak)からは間隔があることに注意が必要である.こ れらの最後のイグニンブライト (VS)に関連するマグ マだまりが空になった後,火山は陥没し,直径10km のカルデラが形成され,その外側には火砕流堆積物の リングが残り,これがこの相の名前の由来となってい る.

第 II 期–崩壊した地域の中心部に新しい山地 (A new building) ができ,ここにも直径2.5kmのカル デラが形成され,南縁部が発達してFaete山になる.

第 III 期-すさまじいマグマ水蒸気爆発により、古 期山地の最西端部が破壊される.

Marra et al. (2009) は, その 3 時相の間隔 (time limits) を以下のように設定している:608-351, 308-250, 250-30 Ka.

第 I 期末からマグマ水蒸気爆発期までの間に含まれ るいくつかの局面は、以下の10点として批判的に検討 された。

1-初期の火山系TA帯は、残留地形から推定された 高さ約3,000mの成層火山の最縁辺部に残されている (Mortari, 2010). この地質構造は、何回もの破壊と再 構築が繰り返されたことを示しているはずだ.最新期 の発達は、VS凝灰岩の活動以前のある時期に発生し たストロンボリ式噴火の結果である. 2-目立った溶岩流は、火山活動の初期からGTTの 初期にかけて、次々と続いた.それらは、長さが 10km、平均3~4km、厚さは最大数10m;図9では大 きな文字で示されている。年代は706~175Kaとさま ざまだが(参考文献は Voltaggio and Barbieri, 1995 を参照)、同じ噴出物でも大きく異なってい る。例えば、最も長い溶岩流(A)は、360、292、 277Kaの年代とされてきた。年代の不一致で最もよく ある原因は、過剰なArによることが確認された (Soligo and Tuccimei, 2010).この噴火活動の最も可 能性の高い範囲は、約600~270Ka である。

3-より大規模な火山地形 (volcanic edifice) に は、北西と東に見られるように、深部におよんだ侵食 期の重要な痕跡が残されており、現在の流路は実際の ところ2つの水系によって分断されている.この侵食 期は、356.5~354Ka期間の海退最頂期 (cisgressive peak)、すなわちGTTの開始直前、270.5~273Ka (図5参照)のmarine stillstand (海面停滞)以前の 2,528年間に33回くりかえし起こったに違いない (Mortari, 1972, 2017の図2参照).この侵食期の



図9-Alban 丘陵の火山簡略図. 凡例-1:現世堆積 物・トラバーチン. 2:Albano マール, Nemi およ び Ariccia からの火砕物. 3:スコリアコーン. 4:Faete クレーター縁. 5:Pozzolanelle および Villa Senni 凝灰岩. 6:Tufo Lionato 凝灰岩. 7:溶岩流. 8:Tuscolano-Artemisio クレーター 縁. 9:Tuscolano-Artemisio 時相の火砕物. 10:中生代炭酸塩. 11:クレーター縁頂部. 12: スコリアコーン. 13:プラグ (plug). 14:貫入 岩. 15:凝灰岩最大層厚地点. TR: Tiber River. AR: Aniene River. MF: Mount Fiore. MC: Mount Castelluccio. AC: Albano Crater. NC:

重要性は,我々が検討している重要な火山活動期の正 確な期間を言及したいことにある.

ここでは,残念ながらまだ正確な年代測定が行われていない2つの水系(図9のBとC)を占める2つの溶岩流から始めよう.それらの溶岩流の長さは,北西に3 km,東にほぼ8kmである.この最後の溶岩流は,TA 凹地の中に続いているようにみえる.

第3の溶岩流もまた東側に位置しており,図9では Dで示されている;その溶岩流は,Castelluccio 山 (図ではMC)の採石作業のために出現した貫入岩に 由来し,前の谷とほぼ平行に東南東へ流れ込み,かな りの距離で乱されながらも,全長約8km にわたって 続いている.その貫入岩は,北北西走向,垂直な盤, 長さ120m,少なくとも 5-6mまで変化に富んだ厚さ をもつ.その年代は351±3Kaである (Karner et al., 2001).

最後に,重要な溶岩流 (図9のEとF) は他に2つあ るが,TA帯の中で,それぞれ Ferrari山と Peschio山 の頂上を形成している.西側の溶岩流の年代は 356±3 Ka (Marra et al., 2003) であり;その厚さは 少なくとも30mであることから,かなり多量な以前の 系列の溶岩流によるものと考えられる.

Ferrari山の溶岩は,頂部の起伏に沿う断裂から噴 出したという印象を受けるが,事実Marra et al., (2003)は"溶岩ダイク"として記載している.しかし, この想定される断裂では,溶岩は北斜面にも拡がった のではなく,南斜面にだけ拡がったように見えること に注意する必要がある.この大規模な溶岩流は,少し 議論したカルデラという考えとは対照的に,TAの大 火口を形成した爆発によって先端が吹き飛ぶ以前に, すぐ東のものと併せて,北へ連続していたと考える方 が論理的である.

4 – 前述の5つの溶岩に非常に近い年代に, Fornaseri et al. (1963) による従来の命名法で, Tufo Lionato (TL), Pozzolanelle (PZ), Tufo di Villa Senni (VS) と命名された3つの火砕流ユニット が放出される. これらは長い間, 3つの異なるイグニ ンブライトと考えられてきた. その後, 2番目と3番目 の用語は側方への岩相変化と考えられたが (De Rita et al., 1992), 最終的にVSという用語は撤廃された (Watkins et al., 2002).

したがって,3つのイグニンブライトは単一のVilla Senni 噴火シーケンス (VSES) に属し, "これらの堆 積物には有意な時間間隙がない" (Freda et al., 1997) ことを考えると,同時に生じた噴出物であろう. 問題の3つのユニットは、その直後にカルデラ崩壊 が起きたのか、それとも逆に大規模なクレーターを形 成するような爆発が起きたのか、を理解するための重 要な堆積物である。筆者によれば、いくつかの重要な ポイントを再度議論するために、この問題を区分して おくことは理にかなっている。

TLについては,以下の年代を決定した:366±5 (K/ Ar-Biddittu et al., 1979), 355±2Ka (Ar/Ar-Karner et al., 2001), 365±4 (Ar/Ar-Marra et al., 2009). これら3つの値のうち最後の値が,ユニットの実際の 年代に最も近い値であると思われる.

TLは火山の中心から北に20kmのAniene川渓谷に 沿って、厚さ20m (Freda et al., 1997) に達している. これは火山噴出物や火砕流に関連し、凹地に集積した ことを示す.しかし、図9の地図では、火山の中心部 から北東方向に19kmの地点で、厚さは20mを超えて いる.しかし、図9に+記号で示された火山の中心から 19km北東方向に位置した地域では、厚さは200mを 超えている (De Rita et al.による地質図から推定). この非常に特殊な堆積物は、アペニン山脈の最初の尾 根によるバリア効果のほか、この方向へのイグニンブ ライトの流量の増加によって説明できる.

次の2項目, PZとVSについては, それぞれ357±2 (Karner et al., 2001) と 352±8 Ka (Villa, 1984) で ある.

De Rita et al. (2009) によると, PZ VS ユニットは 最大30mの厚さをもっている.しかし,この値には, TA帯の東洋部のすぐそばで3つの+記号で記されてい る地域の厚さに,De Ritaら (1988)の地質図の層序ユ ニット No.35 の130mを加えなければならない.これ はPZ+VSを重ねたもので,これらの著者は"火砕物と syncalderic resoldered slags" (カルデラ同時噴出ス ラグ?:訳者註)と解釈している.

VSは中央丘から噴出した最新の貴重な火砕物のため, Marra et al. (2009)はVS中の火砕物と syncalderic resoldered slags を詳細に報告し, それ らを "VS噴火の最終降下物"と表している. もし"火 砕物と syncalderic resoldered slags" が降下堆積物 と考えられるのであれば, PZ と VS の2つのユニット の下部には, 径50cmにも達する大きな岩石を豊富に 含む角礫で構成されていると考えられる. さらに, P Z+VS集合体はもはや 30mの最大層厚をもたない が, 少なくとも30+130=160mの残留 TA 地帯の 近くでは, 5km先の外側では30mになり, その後遠ざ かるにつれて徐々に減少するような考慮すべき点が残

#### されている.

まず考慮しなければならないことは、これらの堆積 物の体積を50~75Km<sup>3</sup>程度に増やさなければならな いということである。第二に、それらの分布が典型的 な降下堆積物であり、イグニンブライトではないとい うことである。第三に、TL、PZ、VSは、再びそれぞれ 個別の爆発的な事象を表していることである。しか し、PZとVSは2つの直接連続した事象であるため、年 代で区別することはできない;それらの妥当な年代 は、他の著者と同様に、355Kaであり、この値は我々 が先ほど区別した海進に先立つ最頂期(cisgressive peak)のちょうど中央値にあたる。

5-これで、356Kaの年代を推定できる5つの大規模 溶岩流がどのような状況で発生したか、をよりよく評 価できるようになった: B, C, D, E, F. Castelluccio 山のわずかな貫入岩に示されているように、約356 Ka以前に到達した伸長状態では、深部に根ざしたマ グマが動く際に断裂が形成され、一旦上昇したマグマ は長大な溶岩流を形成するが、これは火山活動の初期 からみられる様式である. Castelluccio山の貫入岩は あまり広く分布しておらず、上昇してきたマグマは限 られた範囲にとどまっている.

しかし、その直後に、海進に先立つ最頂期 (cisgressive peak)の海水準が充たされると、展張状 態が強まり、より大きな貫入岩が形成され、地下水に つづき、海水が上昇するマグマと接触するようになっ たに違いない.そのため、最初の爆発は水蒸気爆発的 なものだったが、それはより表層のもので、おそらく 海面下数100mで、TL放出後に残った成層火山のわず かな部分が吹き飛ばされ、PZ全体に基底角礫岩が形 成された.その後、別の爆発がさらに深い推定標高-1,500mで起こり、すべてのVSが放出され、TA地帯内 に大きなクレーターを生じ、かつての火山とその根が より縮小する原因となった.

南部のクレーターの縁は,最もよく保存されてお り,約30°の傾斜で明瞭である.もし地表の巨大な凹 地が,カルデラ論者の主張のように,陥没現象による ものであったとしたら,その角度は少なくとも元々 45°以上はあったであろう.逆に,30°という値は水蒸 気爆発現象を示唆する.

実際,最西端にある火山の最後の段階でつくられた NemiとAlbanoのマグマ水蒸気火口の傾斜を測定する と,壁の傾斜は最小10°〜最大50°まで変化し,中心部 から周辺部に向かって傾斜が大きくなる傾向がある. この変化は,周辺の土壌水がもつ爆発地点の内部摩擦 を軽減するという役割によって説明することができ る;しかし,その地点から遠ざかるにつれて,その効 果はより減少するため,このタイプのクレーターで は,等方性的とみなせる土壌が軟らかく,多孔質で, 透水性がある場合には,噴火地点に近いところの地表 はほぼ水平に,離れたところの地表は45°以上になる 傾向がある.

PZとVSの2回の爆発で除去された物質の総量は約 100Km<sup>3</sup>と推定される.また,放出された物質のほと んどが同じクレーターに戻ってきたので,その量は約 30Km<sup>3</sup>と推定される.75Km<sup>3</sup>と100-30=70Km<sup>3</sup>の間 に約5Km<sup>3</sup>の差があるのは,あらたなマグマが加わっ たためかもしれない.このことは,数100年前に噴火 した5つの溶岩の総体積が1Km<sup>3</sup>強と推定されているの に比べれば,それほど多くないはずだ.

この再活動では、マグマだまりの存在は必要なく、 そのためどんな陥没でもまったく論文化されていない.したがって、カルデラではないであろう.

例えば, Locardi et al. (1975) や De Rita et al. (1995) が行ったように,解釈の必要さえなかった. また,連続する環状断裂がTA地帯(および小構造) の頂部を走っていることは,その後の多くの著者に よって支もされたが,その機能は明らかではない.

6-VSの爆発とクレーターへの部分的な埋積の後, 中心部でストロンボリ式活動が再開し,頂上は標高 約 1,500 m になるであろう新しいコーン (Faete の コーン)を形成した.

新期成層火山の一生の中のある時期に, TA帯とそ の周辺に高さ50~150mのスコリアコーンが形成され 始めた.そのうち, Fiore山の溶岩の年代は278±5年 である (Marra et al., 2003).図9に示すように,コー ンの分布は決して不規則ではない:主要地帯の頂上か ら2km以下の距離のものだけを考慮すると,それらの 半分は頂部に位置している;残りの半分は少なくとも 0.6 Kmの距離にあり,1.5-1.6Kmの距離でより頻繁に 発生している;この特殊性については,少し後に評価 する.

7-270.5Ka以前にGTTが始まり, 2.5Ka以降には, 新しく形成された火山性隆起部 (volcanic edifice) が大きく沈水した.

8-Faete山のコーンは、一回の爆発あるいは一連の 爆発によって影響を受けてきた.クレーターの残丘 (The spared crater enclosure)は直径2.5kmで、南 南東方向によく保存されており、標高956mのFaete山 に達する.海進と爆発が併存していることから、この 場合もマグマ水蒸気爆発で、この小さな丘 (building) はカルデラではなく,クレーターである ことがわかる.その爆発の証拠として,TA帯北側の 外壁には1-1.2mの大きさのブロックがいくつか観察 されたが,これは深耕(deep plowing)や新しい道 路の開通時に発見されたものである.

9-小規模な丘 (edifice) にもスコリアコーンが発達し、そのうちの2つの大きなものは、まさに分水嶺と正反対の位置に成長してきた。それらは西のCavo山、東のIano山である (図10).

頂上を比較すると、Cavo山は最高標高958mまでほ ぼ100m隆起しているのに対し、938mに達するIano 山は推定標高250m程度で、本来であればもっと大き く隆起していた可能性がある。実際、図10を見てみる と、Iano山(全火山で最大)のスコリアコーンは大規 模な地すべりで崩壊し、ほぼ全域の内壁が影響を受 け、火口中央部に堆積し、地上に高さ約50mの隆起部 を形成している。しかし、著者らの一部は明瞭なスコ リア円錐形と見誤っている。

2つのコーンは海面下で成長している.

全火山で行われた侵食段丘の確認により,最も高い 位置にあるものを除いて,GTTのすべての海面静止期 (the sea stillstands)が認識された.このことは, 最後の記録より14m高い,すなわち現在の水準を上ま わる14+951=965mであった可能性を示唆する.

この地域の標高は隆起の影響を受けていない地域と 比較した図11から推定されるように、アペニン山脈の 造山運動に関連した隆起によって上昇した.したがっ て、この火山は約70Kaの間、アペニン山脈の隆起に



図10-南東から見た Faete の建造物を Google Earth で撮影. 左の Cavo 山と右の Iano 山の2つ のスコリアコーンは火口縁頂上から発達した. 手 前には溶岩栓 (a lava plug)の縁に生い茂った 木々が目立つ. これと Cavo 山の間には, その縁 には他にも多くの岩栓が植生に隠れている.

関与していた.最大隆起は965-822=143mであった.

Cavo 山の山頂周辺に見られる951 mの段丘は、こ のコーンがその間にすでに成長を終えていたことを示 している. Iano山も同じ運命をたどっていると思われ る.

10-スコリアコーンに加え, Faete の丘 (edifice) には小さな溶岩の露頭が見られる. そのうちの一つは 大きなコーンの中心部 (Iano山) に位置しているが, 他のものはスコリアの堆積を伴わない. これらは図9 に小文字で示されているが, そのほとんどは, 2つの 大きなコーンと同様に,火口縁のちょうど頂上に位置 している. とくに, a, b, c の文字のついた年代が記 されているものは非常に興味深い.

溶岩 "a"は、Faete山の最高地点(946m)に位置 し、図11の手前に見える. 頂上のすぐ上にある黒い点 は、直径約70mの溶岩岩栓の上に作られた中継所を守 るために植樹された木輪で、北側は高さ約10mの露頭 が出ている(図9の点 "a ");その年代は268±2Ka で ある (Voltaggio and Di Lisa in Soligo and Tuccimei, 2010).

溶岩 "b "は Cavo山のコーンのすぐ北側に位置して いる.最北端の溶岩も,約30mにおよぶ突出した岩栓 を形成し,直径約90mをなす(図9の溶岩 d). Marra et al. (2003) はその南部をサンプリングし,TA帯に おけるFerrari山の溶岩のような貫入岩であると考 え,268±2Kaの年代を出した.後述する理由から, 複数のパイプを含んでいる可能性が高いと考えられ る.私たちは貫入とパイプが同時に生じ得ないことを 理解している.

最後に, 溶岩 a と b の間にある溶岩 "c "も, 前の2 つの溶岩と同様の年代, 268±4Kaを示す.

図11-GTT(左)期間における Alban 丘陵火山に見出された海蝕段丘の海面標 高と海面静止標高(Sea stillstand elevations)の比較.この違いは後の隆 起による.

これらの3つの溶岩の年代が一致したことは偶然で はなく,最大海抜に達した約268Ka(より正確には 267.7 Ka)の海進期(the ingression of the sea)後 に,放出されたことを示しているはずだ;最も可能性 が高いのは,このイベントが発生した間隔は500年未 満,おそらく250年未満であったことである.

しかし,最も興味深い溶岩の露頭は,Cavo山と Cavo山の間の尾根に沿う長さ1.1Kmの範囲に,多数 の岩栓を伴い分布している.平均的な大きさは小さめ で,2つの溶岩だけが南斜面に短くに延びている.こ れらの溶岩体の重要性は,配置断面に正確かつ非線形 な特徴 (a punctual and non-linear character in plan section)が表れていることである.図9には, 赤い点の連続として示されている.したがって,これ らを割れ目マグマ活動と呼ぶのは正しくない (s. Locardi et al., 1975).

短期間に、小丘(the minor edifice)のスコリア コーンと溶岩がその頂部沿いに形成された際、同時 に TA 帯沿いに分布するスコリアコーンと溶岩も形成 されたはずだ. 著者は、それらのマグマはGTT進行期 の地球収縮期に放出される電荷を伴って上昇したと考 えており、その噴出経路(概要はつかんでいる)とし て、その地域に存在する最高地点を選んだと考えてい る.

このメカニズムでは大きな質量のマグマを移動させ ることはできないため、Castelluccio山のような岩脈 を通って運ばれてきたマグマと比べて、その体積の違 いがあったと説明されている。

この火山のパイプと超塩基性マグマを地表にもたら したパイプの違いの理由は、まだ解明されていない. 貫入岩も同様の問題を抱えている.

#### Levant (レヴァント) の玄武岩

Segev (2000) は, Levant (レヴァント) やそのほ かイスラエル,シリア,ヨルダンなどの非造山性火成 岩地帯を代表する地域で玄武岩溶岩流が発生した時期 を分析し,そこではマグマ的なイベントに富んでいる 時期と,それよりもずっと長い非マグマ的な時期とが 交互に繰り返すことを見出した.その中で元も最近の マグマ活動は5 Maの時期で,その中にはさらに16の イベントが識別され,7つのグループに分けられてい る (表4).これらのグループの活動年齢は,地域が 異なっていても非常に近い値を示している.その値は 本稿で計算した周期年齢である 0.67 Maである.

356 Ka以前の5つの溶岩流の噴出年代が,いずれも 海の静穏期である本論文で計算した 0.67Maのサイク ルの開始年代とほぼ一致している.したがって,それ らはシスグレッションのピーク時期,すなわち地球の 拡張の時期に集中していると言える.各地の玄武岩の 噴出は,0.67Maのサイクルがすべて終了した時期に 起きていることが期待されるのである.

表4(や図13)のデータからわかるように,これら の玄武岩7つの異なる岩脈群からなる.最後の行の6 つの値の平均が4.98Maであることに注目すべきであ る.下から3行目の4つの値の平均値は3.65Maであ る.解析されたデータと理論値との対応関係は非常に 良く,このことは玄武岩の噴出が過去の海面低下の時 期の直前に発生したことを示している.

最後の行の年代測定値が多いが,これは中新世末に おける地殻の伸長がそれに続く時代でのそれよりも重 要であったことを示すものである.

## アメリカ・ワイオミング州のLeucite Hill に見られる lamproite

イエローストーンの南南東約350 kmには, 平坦な エリアに流出したとみられる溶岩の露頭が50個所あ る. その総体積は約0.5 Km<sup>3</sup> である. 厚さは最大で 20 m に達し, 分布面積は最大 6×106m<sup>2</sup>に達する. それらは necks, dykes, plugs, cinder conesなどの形 態で存在している.

これらのうち, 12の露頭で採取されたサンプルから, 約0.93, 1.67, 2.2, 3.0 Maの4つの異なる年代値が 得られた (Lange et al.2000). これらの年代値は, 表4の右欄にある0.94, 1.6, 2.3, 3.0 Maと完全に一致 する. アルバン丘陵の溶岩が示す特徴からみて, これ らの溶岩は直前に発生する特定の海進事件に先立つシ スグレッシブのピークに対応して噴出している.

#### 塩基性・超塩基性岩脈

前の2つの章では, 記述されている溶岩類が 0.674Maの周期で噴出している可能性があることを見 てきた.しかし, 5Maを超えてより古い活動は確認で きない.年代については,侵食の影響がより重くなる 可能性がる.流出した溶岩は侵食作用の影響を受ける

表4-イスラエル,シリア,ヨルダンの玄武岩露頭の 年代(Segev, 2000),表3の第2欄の年代と比較.

0.233±0.003	0.270
0.95±0.03	0.950
1.37±0.39	1.624
2.02±0.11 2.16±0.28	2.299
	2.973
3.5±0.1 3.5±0.1 3.8±0.1 3.8±0.1	3.647
4.3±0.1	4.322
4.7±0.1 4.8±0.1 5.0±0.1 5.1+0.1 5.1±0.1 5.2±0.1	4.996
	196203

ため、むしろfeeder dikeなどが残る可能性高くなる.したがってこれらの貫入岩が一般的にかなり限定 された時間的な出来事を表すと考えられる.しかし、 溶岩の流出、とくに大規模なものは、極めて重要な現 象であることは間違いない.

我々は、今後も0.7Maの周期に加えて、11Maや 180Maの活動周期が存在するのかを検討したい.そ れらに関して最初にまとめられたデータは、超塩基性 岩マグマに関するものであったが、その後、研究はす べての塩基性マグマに関するものへ拡大した.すでに 述べたように、岩脈(貫入作用)によって運ばれるマ グマの量は短時間で行われると考えられており、とく に塩基性岩脈群の貫入は短時間に進むとされる.我々 は、シート(岩床)と岩脈を区別していない.成層化 した地層に侵入する大規模なシルも、その深さの点で は岩脈や岩床とは異なるがそれらと同じく短時間で貫 入・定置したものと考えられる.これらの岩体の年齢 は表5(付録)にまとめられている.pipeは次のセク ションで検討することになる.

岩脈とpipe (パイプ)の同一視は,しばしば不幸に も著者が,超巨大なダイヤモンドの探索に関連して岩 脈やパイプを区別せずに引用したことによる.詳細が 明記されていない場合はパイプである確率が高いた め,関連するデータはこの後で考慮することにする. それらを区別するために,岩脈 (シートも含む)のラ インの先頭にDが,また.Pはパイプを,Sはシル,F はフラッド (溶岩流)を表している.体積は考慮され ていない.

この表は、キンバーライトと関連する岩石について 言及しているTappeら(2018)のデータに基づいてい る.それに追加されたデータは区別してある。それら はまた、決定の誤り(一般的には2σ)を伴うもので あり、著者の識別とトレーサビリティを向上させるた めに、出版年を記載している。それらは、設定した目 的を達成するのに十分なデータであると判断された。 岩脈とシルに関する年代データは、図12に示した。

11Maのサイクル

約11 (7-12) Maの周期が見られる短いセクションが ある.最初のストレッチ(活動期)は119,129また は128,137,149 Maにピークがあったことを示して いる.2199,2209,2220 Maにみられる活動期の間 隔は9~12 Maである.550,579,600 Maのピーク の間隔は29 Maと21 Maであり,活動間隔に違いがあ ることを示唆している.

Tappe et al. (2009) によって記載されたグリーン

ランドの Titiusaak と Qaqarsuk に見られる岩脈と岩 床では、152.1±2.3、157.1±2.6、157.4±1.3、 157.8±2.7、157.9±1.1、158.0±2.3、162.7±1.4、 162.9±2.9、163.1±0.3、163.5±2.6 Maの年代が得 られている. これらのデータは、平均的には152、 158、163 Maの値を示しており、その活動間隔は 6Maと5Maである. 全体としては、11Maの周期性が 典型的に認められる. また180Ma周期の半分の周期 性も認められるが、0.7Maの周期性はなさそうであ る.

これらの3次オーダーのサイクルに属する年代の出 現頻度が高いということは、それらがそれまで直感さ れていた4次オーダーの周期性の現象よりも重要であ ることを示している。また、そのことは2次オーダー のイベントはおそらくもっと重要であることを予測さ せている。

180Maのサイクル

Salop (1983)は、造山現象が180Maの周期に沿った ものであることを示している.より一般的にはプレー ト同士や安定地塊同士間の運動ではこの周期性をたど るもののあることが、岩脈を用いることで明らかに出 来る.

2次オーダーのサイクルの検討によれば、私たちは 海進現象の場合と同様に同じ事象の次元が4次から2 次へと大きくなると仮定して検討を進めることができ る.

まず,長距離にわたって延び,大きな振幅をもつ岩 脈群を考えてみる。岩脈群全体と個々の岩脈の両方を 対象とする。しかし,必要であれば溶岩流についても それを無視することはしない。

このような周期的活動が繰り返されている可能性を より明確にするために,図12の頻度分布図では横軸 を180Maごとに分割してある.

1-最も注目すべき現象の一つは、北アメリカ西端 のロッキー山脈東岸に見られる岩脈群である。この岩 脈群の示すラインは、それが太平洋と大西洋との連絡 につながる開裂の始まりを表しているという意味で重 要である。表5では、その岩脈は西ローレンタイド新 期原生代マフィック岩脈群(Western Laurentide Neoproterozoic mafic dyke swarm)の通称で統一さ れている。そのため、この岩脈群にはカナダとアメリ カの両方の要素が含まれており、その幅は100km、総 延長は2,700km以上に及んでいる。Harlan et al. (2003) は、カナダ楯状地の3箇所の多数の岩床を解 析して,780.0±1.0Maというほぼ似た値の貫入年代 を得ている。多くの値が777~782の範囲に収まるこ と (Davies and Heaman, 2014) は,このマグマイベ ントは 779-780Maというわずか1Maという短い間に 起きたと考えている。しかし,一方では762-761Ma (Harlan et al., 2003) と796-797Ma (Park et al., 1995) という年代も報告されている。このことは, 780Maを主要な活動期として,時間的にはそれに10 ~11Maほど先立つ活動やその後の活動もあったこと を示唆している。

中国においては,820~740Maの間に塩基性のマグ マ活動のあったことが報告されている.Zhang et al. (2012) は,780~760Maの岩脈群を重要視してい る.Wangら (2014) は778-776Maの間の岩脈群が あることを報告している.

2-2番目のケースは、図12の2,220Maと2,209Ma にピークをもつものである. これらの値は、主にイン ド南部のDharwar cratonに影響を与えている450km 以上の長さのAndhra-Karnataka Long Dykeに関する ものである (Kumar et al., 2012). しかし、カナダ (Maurice et al.) 、中国 (Wang et al., 2010)、ロシ ア (Maurice et al., 2009)、オーストラリア (Martin et al., 1998; : Kivietz et al.2009) などでは2,220Ma と2,009Maという主な値に加えて、2,199Maと 2,188Maにもピークの値を示している. これらに加え て、フィンランドとインドで記録された2,215Maと 2,216Ma、カナダの Senneterre で記録された 2,214Maと2,216Ma (Buchan et al., 1993 : Buchan et al., 1996) などがある.

3-3番目のケースは、イギリスの第三系地域やグリー ンランドの東部、Labrador沿岸地帯を含む北大西洋 の火成岩区における岩脈群である.その延長は 2,600km以上に達する.Eldholm and Grue (1994) は約60Maの年代を報告している.それに対しErnst and Buchan (2001) は62-58Maという値を報告して いる.これと非常に近い年代値がインド亜大陸に隣接 する岩脈群に関して報告されている.これは、 Widdowson (2000) が約62Ma という年代値を報告し ているGoan岩脈群である.このイベントは、インド とマダガスカルの分離に関連しており、65Maのデカ ン高原に広がった玄武岩流出活動や62.5Maの塩基性 岩脈群の活動がそれに先行している.

60Maという値は一つの鍵となる重要な値であり, それは以前の780Maや2,220Maから間隔が開いては いるが,その間に180Maの間隔で4回から12回の活動 が認められる. 4-4番目のケースは, Zimbabwe(ジンバブエ)の大 規模な岩脈群で,最大幅11kmで550Kmの延長距離を 示している.2,596Maから2,571Maの間のいろいろ な年代値があるが,最も重要なのはConcordia(コン コルディア)の2581±11Maという年代であろう.こ れらには,細かくは2,575,2,580,2,590 Maという 3つの値があるが,その中では2,580Maという年代値 が重要であると考えられる.

5-5番目のケースは、オーストラリアの Widgiemooltha と Binneringieに存在する2つの主要 な岩脈群である.後者は延長距離500km以上に達す る.Eraynia (エレイニア)の岩脈群は前者に属して いる.最初の2つの岩脈群の年代値は2,410Maと 2,420Maであり、3番目の年代は2,401Maである (Pisarevsky et al.,2015).表5では2,392Maから 2,420Maの間に19の年代値があり、それぞれが5Ma の間隔をもっている.

2,400 Ma前後の年代値データとしては、フィンラ ンド、オーストラリア、カナダ、スコットランド、ジ ンバブエ、ノルウェー、ロシアなどの2384、2392、 2395、2395、2401、2403、2405、2450、2408、 2410、2410、2411、2418、2418、2419、2420、 2420 Maという年代値がある。2395から2405の間で は2400の値が、検討中のグループ化の基礎となる可 能性がある。60Maとの差は、2340=13×180Maであ る.



図12-表4にあげた岩脈の年代頻度分布.

6-別の値のグループは、1,140Ma前後で認められるもので、それは本質的にカナダのスペリオル州で発見されたGrand Abitibi Dyke (グランドアビトビ岩脈)である.それは、カナダのスペリオル州で発見されたAbitibi 岩脈群に属するもので、長さ700km、岩脈の幅は50~250m である (Ernst and Buchan,1993).その年代は1,140.6±2Ma (Krogh etal.1987)である.Krogh et al. (1987)は、その年代値と60 Maの間には180 Maの長さをもった6つのサイクルがあることに言及している。

カナダの他にも,スウェーデンや南極でも1,134 Maから1,145 Maの年代幅を示す岩脈が発見されている.

7-ロシア, ブラジル, アンゴラ, スウェーデン, イン ドでは, 1473Maから1513Maの年代幅を示すシルと 岩脈がある. それらは1473Ma, 1483Ma, 1497Ma, 1502Ma, 1513Ma, 1518Maの年代値を 示し, 1502Maという年代値がキーとなっている.

8-図13では,最も古いデータは,インド東部の Singhbhum (シンフム)地域から得られたものであ る.そこでの個々の岩脈の厚さ(幅)が500mにも達 しており,この岩脈群の重要性を示している.年代は 2,652~2,800Maで,最も頻度の高い年代データは 2,760Maと2,764Maである.2,760Maの値を基準と して60Maの群と比較すると,その年代差は2,700Ma であり,これは180Maの年代幅の15サイクル分に正 確に対応している.

9-最後に,いくつかの重要な岩脈群が,これまで述 べてきたケースの中間に位置していることに注意する 必要がある.それらは180Maではなく90Maの時間幅 を示すものである.そのうちの一つは中国のTaihang (太行) 岩脈群に関するもので,約1,770Ma前のも のである(Wang, 2016; Halls, 2000; Pengら, 2006; Piperら, 2011).Wang (2016)は重要なことを指摘 している.Jianping (建平)の岩脈は1,230Maの年代 であるが,1,680 Ma岩脈が重要だと指摘している.

#### パイプ (岩栓)

ここでは、パイプの時間的分布を解析する. 岩脈類 と同様に、表5で示されたデータを頻度図で示した (図13).この図が提供する最も直接的な事実は、 93 Ma付近の集中であり、これは偶然ではなく表3の2 番目の列に表示されている値に対応している.表3 は、すでに見たように、第4次から第2次までの海進 事件の年代を示すものである.



図13-表4にあげたパイプの年代頻度分布.

惑星の拡大の条件のもとで形成される岩脈とは異なり,パイプは地球が収縮した短い瞬間に形成されたことを証明することが期待されている.

我々は,パイプについては,それほど重要ではない イベント,すなわち 0.7Maのサイクルを示すものから 検討を始めることにする.

#### 0.7 Maのサイクル

4次オーダーのパイプは,確認されたものの大部分 を占めており,高次オーダーの貫入岩類に属していな いことが確認されている.

#### 11 Maのサイクル

3次オーダーのパイプは、その特徴によれば10~12 Ma か、その半分の間隔で(マグマだまり)底部から 貫入したことが明らかなものである.11Ma周期間隔 のもの(120,135,150,170 Maのようなもの)は より強い痕跡を残している。87,1084,1098 Maのよ うな強い痕跡を残すものがある.これは、それらが依 存している現象(海進や地球の収縮など)が、0.7Maの 間隔で起きる類似したイベントよりも、より確かなも のであることを示している.このことは、第3章です でに想定したことであった.Mbuji Mayi(ムブジ・ マヤ)は、コンゴでは経済的にも重要なフィールドで あるが、そこは71Ma、表3で3次オーダーの海進現象 の時期を示す地域の一つである. このオーダーの周期としては、53-64Ma、80-90Ma、135-146Ma、146-156Ma、370-380Maの年 代値の組み合わせで構成されており、150、160、170、 180 Maの間隔年代値もある。48-53Maという半分の 周期間隔のものもある。

#### 180 Maのサイクル

最も興味深いデータは、93 Maの年代を示す18本の 2次オーダーのパイプである. それらのデータは、 Botswana (ボツワナ)のOrapa (オラパ)の1号,6 号,8号,9号と、Damtshaa (ダムシャア)の11号, 12号,15号,16号,23号,24号,25号に示されてい る (表5).

南アフリカのPremier(プレミア)とオーストラリ アのArgyle(アーガイル)のパイプの年代は 1,180±30Maと1,179±36Ma, 1,177±47Maとほぼ同 じである.これらは、表3に示されている1,173Maの 理論値に非常に近く、パイプの貫入が検討中のサイク ルに沿って行われていることを示す最良の証拠であ る.それらは、地理的には互いにかけ離れているこ と、それぞれ規模が大きいこと、その周辺には似たも のがないことなどの特徴をもっている(図13参照).

#### 2,879 Maのサイクル

表3には、1次オーダーのイベントの代表として、 1,712Maという年代が示されている.そして、驚くべ きことに、South Africa (南アフリカ) Kuruman (クルマン州)のKimberlite Provinceに、この年代 値と非常に近い値が2つある.それは、Bathlaros の 1694±42Ma (Shee et al.)という値、Helpmekaar の1,705±31Ma (Donnelly et al.)である.この2つ の値は、図13に示された年代の中では珍しいもので ある.

この2本のパイプは元来,非常に大きなものであっ たに違いないが,大きな浸食作用によって小さなもの になったとみられ,重要なものであったに違いない (Bristow et al.1986)

#### パイプの貫入・定置のメカニズム

残念ながら,上記のように多くの論文では岩脈とパ イプが区別されておらず,単に貫入岩と呼ばれてき た.このため,表5では,それがどちらの種類である か明示できていない.しかし,それらを区別する必要 性は存在する.なぜなら,岩脈は超塩基性から酸性ま での異なる性質のマグマから由来しているのに対し, 主要なパイプは超塩基性マグマ由来とみられるからで ある. 前節の考察から、パイプの貫入・定置は大規模な海 の侵入(ingression)があった短い瞬間に起きてお り、私たちが見てきた多くの岩脈のようにさまざまな 時期に貫入したものとは異なっている.Levant(レ ヴァント)とWyoming(ワイオミング)で調査され た溶岩は、明らかに地球の収縮期に同期しているとい う点で例外であるが、それが海進に先立つ最頂期 (cisgressive peak)と一致している.そのことは最大 海面低下の状況が0.7Maサイクルの終わりの時期にあ たること、一方で3次・2次オーダーの海進状況がそ れぞれのサイクルの中間点に対応していることを示し ている.

重要度の高い順はともかく、海進のピーク時にパイ プが貫入・定置されていると考えると、それは地球の 最大収縮期と一致しているとみられることから,よく 言われるように、パイプが岩脈から供給されていると いう考え (s. Brown and Valentine, 2013:"すべて のキンバーライトパイプは岩脈に根を張っている")は 受け入れがたい. そしておそらくこの理由から, Batumike et al. (2008) は、キンバーライトのパイ プは岩石圏の弱い拡張に関係していると考えている. Koffiefontein (コフィーフォンテイン)のように、パ イプのダクトは2つの岩脈の交差部にあたっている (Naidoo et al., 2004), あるいはEkati Fox (Porritt et al., 2008) また、2 つの断層の交差部の場合もある (Seghedi et al., 2009) . 岩脈や断層が交差すると マグマは簡単に上昇路を見つける. さらに, ほとんど の場合、岩脈はパイプよりも明らかに古いもので、例 えば南アフリカのWesselton (ウェッセルトン) で は、約90Ma前にパイプが形成されているのに対し、 岩脈の年代は1800±40Maである(Clement et al.,1979).

Clement and Reid (1989) は,パイプの貫入・定置 について,次のように考えた.すなわち,最初に根の 部分から上に移動してdiatreme (ダイアトリーム) を 形成する.そのようなプロセスでは,水圧破砕や爆発 的な角礫破砕 (explosive brecciation) などが起き る.そして最後に,表層近くにクレーターを形成して 終わる可能性がある.彼らは,このクレーターが場合 によっては水蒸気爆発をもたらす場合もあると考えて いる.

Lorenz (2003) はこれとは別に、クレーターをつく る水蒸気爆発はもっと深いパイプの根の部分で発生 し、爆発点はその後フィーダー岩脈中で下に移動しな がら進み、ダイアトリームを形成すると考えた。

Sparks et al. (2006) は、パイプの形成過程には3つ

の主要な段階があると考えた. "第一段階では,マグマは裂かに沿って地表に到達し,その揮発性の高さから爆発的に噴出する.爆発的な膨張と地表付近の過圧によって,クレーターとパイプの形成が上から下に向かって開始する. その後,パイプが広がり,深くなるにつれてより大きなアンダープレッシャーが発生し,パイプ壁の不安定性を高める.

しかし,これらのモデルでは,ダイアトリーム壁が 交差する岩石の性質にかかわらず常に約82°という同 じような勾配になる (Hawthorne, 1975) 傾向にある 理由を説明することができない.しかし,3種類のパ イプを区別しているField and Scott-Smith (1999) は,その違いが主に異なる地質学的条件によると考え ている.

最後に,これまでの研究では,ダイアトリームに重 なっている円筒状のトラックの存在が重要視されてい なかったことを指摘しておく.

ここでは、前章で研究されたアイデアから、さまざ まなパイプ形状の幾何学的な起源を考えてみる.マグ マの上昇は大きな電子放電によって促進されており、 そのことは噴火の際のマグマの上昇速度が大きいた め、ダイアモンドが黒鉛に変化することを許さないこ とと符合する.仮説によると、地球の最大収縮の瞬間 には地球のグーテンベルク不連続面では、電子が放出 され、それはその後にある場所に集中する.その結 果、そこでは大きい上向きの放電現象が起こりうるエ リアが現れる.これが第一のメカニズムである.

2つの裂かや岩脈の交差は、放電の上昇を促進する ための最良の条件である.マグマは確かに放電ルート に吸い込まれる.上昇するマグマは物理的不連続性の 下にあるイオン化された物質状態にあるので、電子を 失った状態のマグマは電子を回復し、そうすることで 体積が2倍になる.その過程で、垂直で円筒形のダク トが形成されるのである.鉱山の探査では、直径50m にも達するダクトもある.

分析を始めるために, Scott Smith (2008)によって 報告された最も単純なパイプをについて検討すること にしたい.

このパイプは, root (根) (上部に向かってわずかに 大きくなっている) とクレーターからなっている. そ れはカナダのFort à la Corne (コルヌ砦) のパイプで ある. クレーターの深さは約150m, 幅は約700m. 地面の標高は約450mである. 白亜紀中期というパイ プの形成時には, 海進によって海面の高さがなくとも 今より600m以上も高かった. 完全に水没していたこ とが水蒸気爆発を引き起こす上では好条件であった. Scott-Smith et al. (1995) は,これらのキンバーラ イトがは海底下で噴火した可能性が高いと述べてい る.

お椀状の形状のクレーターは、水蒸気爆発に起因す るものである.水の役割は基本的なものである.また 周囲の岩石の性質,たとえば水平に成層した岩石, ルーズで多孔質,透水性のある土壌などがこの結果に 寄与している.とくに、水平な地層が存在するか、ま たは土壌が軟らかく、多孔質で、水の等方性媒体を通 じて、爆発の衝撃波を容易に伝達することができるよ うな浸透性が高い場合には、摩擦力をゼロに減少さ せ、最初は水平な剥離と変位を容易にし、その後ます ます急峻になる.

ボツワナのOrapa (オラパ) にあるA/K1パイプの クレーターも水蒸気爆発を起源とする特徴がみられ る.その幅は1,000m,深さ400m,表面積118Ha. 表面の標高は約950mである.パイプは93Ma前に形 成され,図7のHaq curveによると海は通常,現在の 海面より250m以上高かった.パイプの形成は直近の 2次オーダーの海進に関係しており,その時点で,こ の地点の海面が少なくとも500m以上も高かった可能 性があると考えられる.その確実性は,現在認められ るパイプの壁の傾斜が,中心付近で20°から60°ほどで あること (Field et al., 1997)など,マグマ水蒸気爆発 によるアルバノ丘陵のアルバノクレーターとネミク レーターと類似することで裏付けられる.

パイプの大部分は、海面下で形成された可能性があ る. クレーターの形成をより詳細に分析した結果、 Scott-Smith (2008) によって区別された3タイプのパ イプのステージIが模式的に図14で示されている. こ こでは顕著な水蒸気爆発の影響を考慮していない. 一 回の爆発ではクレーターはほとんど形成されないが、 爆発イベントが何度も繰り返されると、クレーターは ある深さまで達し、その時点でクレーターの完成とな る.爆発は、放電が地表近くで行われる際に、水が沸 点に達して急速に膨張することでもたらされる. 放電 現象は、直線的垂直的に続く傾向があるが、同時にま たその軸線を中心に、うねうねとした道をたどる傾向 もある. 図14ではそれは簡略化して示されている. こ の経路は、クレーターの中に水が存在するときに、あ る直径 d まで拡大していく.

第二段階のカラムでは,放電がダイアトリームの壁の傾斜を82°近いものにしてパイプを押し広げるほどの侵食力があることを示している.

ダイアトリームが洞道と同じ直径dに到達した後



図14-パイプ形成の I ~IV各ステージ. I -爆発によ るクレーターの形成. II -放電現象のゆらぎによる diatorema 形成の始まり. III - 深部への diatrema の成長とその直径の最大値までの拡大. IV-より深 部への diatrema の成長. 簡単化のため, クレー ターの形をお椀状に示していない. K = crater, E = epitrema, D = diatrema, P = pipe s.s..

(ステージIII)は、空洞の直径をさらに拡大すること は効果的ではない.それ故、その後は円筒状の形態の パイプの形成が進む(ステージIV).このダイアト リームに "epitreme"「エピトリーム」という名前を つけることを提案する.Epitreme の直径と高さは放 電の強度とも続時間に依存している.同一オーダーに 属するパイプ中の放電はそれぞれ異なる強度をもって いると思われるが、分析した結果によれば、高次のパ イプはより大きな寸法をもつ可能性が高いと言える.

このようなメカニズムによって,これら2つの噴火 の特徴が説明される:おそらく,上昇中のマグマには ガス状成分,すなわちH2OとCO2 が豊富に含まれてい ると考える必要はないだろう.実際,Karszlaukisら (1997,1998) は,キンバーライト質のクラストには 媒体がまったくない可能性があり,ダイアトリーム内 のダイクやプラグは爆発的な性質を示さないことが観 察された.

#### 議論と結論

粘土質の圧密化とAlban Hills(アルバン丘陵)など の火山活動の研究は、固体地球の内部で作用している 電場の存在が示唆されている.そこでは自由電荷が大 量に存在するとは考えられていない.この対比を克服 する上で、大規模な海進が発生したという考えは、地 球の構造を異なる観点で見ることと併せて、この問題 を検討するのに有益である.

細部まで再構築されたGTTモデルを採用すると、この惑星の重力係数Gの増大と減少によってそれが急速に収縮するとの考えが正当化される.

この惑星の収縮と膨張は、基本的には地震の不連続

境界に沿って発生した.その境界は413,660,2,890 Kmの深さにある.実際,最初の2つに対応して,いく つかの鉱物は圧力の増加と減少の両方の方向に向かっ て相転換を起こす.そこでは重力エネルギーが熱エネ ルギーに変換される効果が重要である.深度 2,890Kmでの体積変化は、そこでの鉱物の化学的性 質に変化がないと仮定した場合に可能である.物理学 的に見ると、そこでは鉱物の外側の電子が失われ、そ れに続いて回復する(そのようなことが可能な元素は 酸素とマグネシウムである).イオン化された状態 は、地震波が外核を横切った時に流体の挙動と一緒に 出現する.

惑星が収縮している間,グーテンベルグ不連続面で の過剰に蓄積された電子は、マントルや地殻を貫通す る放電を生じさせる.そして外核に存在する超塩基性 マグマが上方へ移動する道を開け、パイプ状の岩芯は 地表面付近では典型的な形態となる.パイプは収縮の 間に形成されるのである.

岩脈は,地球が大きく膨張した時に形成される. そ れは主に2つのタイプに分けることができる. 一つは 深部で形成される岩脈である. それの基部はマントル に達しており,そこから超塩基性マグマが地表まで運 ばれてくる. これの典型的なものがキンバーライトで ある. このタイプの岩脈の厚さは一般に0.5~5mであ る.

第2のタイプは,比較的地殻の浅部で(形成され),塩基性マグマ由来で典型的には玄武岩質である.5~500mで一般に幅の広い形態をとる.

外核のイオン化した物質の正電荷に引き寄せられて 残った電荷は,地球の磁場を担う電離層まで連続した 電界を維持している.

**謝辞**. Sapienza University of Rome (ローマ サピエ ンツァ大学) の地球科学科図書館長に感謝の意を表す る. Daniele Coltellacci博士には,書誌調査に関し受 けた支援に感謝する.

#### 文献

- Aldinucci M., Donia F., Foresi L.M., Mazzei R., Riforgiato F., Sandrelli F., Bigazzi G., Dall'Antonia B., Da Prato S., D'orazio M. and Zanchetta G., 2004. The upper Messinian post-evaporitic succession of Serredi Quarry (southern Tuscany, Italy): new stratigraphic data and geochronology of an ash layer. GeoActa, v. 4, p. 159-164.
- Allègre C.G., Mannès G. and Göpel C., 1995. The age of the Earth. Geoch. Cosmoch. Acta, v. 59, p. 1145-1156.
- Amelin Y. and Krot A., 2007. Pb isotopic age of the Allende chondrules. Meteor. Planet. Sc., v. 42, p. 1321-1335.
- Barrows T.T., Hope G.S., Prentice M.L., and Fifield L.X.,

2011. Late Pleistocene glaciation of the Mt Giluwe volcano, Papua New Guinea. Quat. Sc. Rev., v. 30, p. 2676-2689.

- Batumike J.M., Griffin W.L., Belousova E.A., Pearson N.J., O'Reilly S.Y., and Shee S.R., 2008. LAM- ICPMS U-Pb dating of kimberlitic perovskite: Eocene-Oligocene kimberlites from the Kundelungu Plateau, D.R. Congo. Earth Planet. Sci. Let., v. 267, p. 609-619.
- Bernardi A., De Rita D., Funiciello R., Innocenti F., and Villa I.M., 1982. Chronology and structural evolution of Alban Hills volcanic complex, Latium, Italy. Short papers 5th Int. Conf. Geochronology Isotope Geochemistry. Nikko, p. 23-24.
- Biddittu L., Cassoli P.F., Radicati Di Brozolo F., Segre A.G., Segre Naldini E. and Villa I., 1979. Anagni, a K-Ar dated lower and middle Pleistocene site, Central Italy: preliminary report. Quaternaria, v. 21, p.295-304.
- Blytt A., 1876. Essays on the immigration of Norwegian flora during alternating rainy and dry periods. Cammermeyer, Christiana, pp. 90.
- Borzi M., Carboni M.G., Cilento G., Di Bella L., Florindo F., Girotti O., Piccardi E. and Sagnotti L., (1998). Bioand Magneto-stratigraphy in the Tiber Valley revised. Quatern. Int., v. 47/48, p. 65-72.
- Bristow J.W., Smith C.B., Allsopp H.L., Shee S.R., and Skinner E.M.W., (1986). Setting, geochronology, and geochemistry of 1600 m.y. kimberlites and related rocks from the Kuruman province, South Africa. Geol. Soc. Australia Spec. Public., v. 16, p. 112-114.
- Brown R.J. and Valentine G.A., 2013. Physical characteristics of kimberlite and basaltic intraplate volcan- ism and implications of a biased kimberlite record. GSA Bull., v. 125, p. 1224-1238.
  Buchan K.L., Mortensen J.K. and Card K.D., 1993.
- Buchan K.L., Mortensen J.K. and Card K.D., 1993. Northeast-trending Early Proterozoic dykes of southern Superior Province: multiple episodes of emplacement recognized from integrated paleomagnetism and U- Pb geochronology. Can. J. Earth Sci., v. 30, p. 1286-1296.
- Buchan K.L., Halls H.C., and Mortensen J.K., 1996. Paleomagnetism, U-Pb geochronology, and geochemistry of Marathon dykes, Superior Province, and comparison with the Fort Frances swarm. Can. J. Earth Sci., v. 33, p. 1538-1595.
- Chaves A.O., 2011. O enxame de diques de anfibolito do Cráton São Francisco meridional. Rev. Brasil. Geociên., v. 41, 509-524.
- Chudinovskikh L. and Boehler R., 2001. High-pressure polymorphs of olivine and the 660-km seismic discontinuity. Nature, v. 411, p. 574-577.
- Cita M.B., Capraro L., Ciaranfi N., Di Stefano E., Marino M., Rio D., Sprovieri R. and Vai G.B., 2006. Calabrian and Ionian: A proposal for the definition of Mediterranean stages for the Lower and Middle Pleistocene. Episodes, v. 29, p. 107-114.
- Clement C.R., Skinner E.M., Hawthorne J.B., Kleinjan L., and Allsopp H.L., (1979). Precambrian ultramafic dykes with kimberlite affinities in the Kimberley area. In: Boyd F.R. and Meyer H.O.A. (eds). Kimberlites, diatremes, and diamonds: their geology, petrology, and geochemistry: Proc. Second Intern. Kimberlite Conf., Am. Geophys. Union, Washington DC, v. 1, p. 101-110.
- Clement C.R. and Reid A.M., 1989. The origin of kimberlite pipes: an interpretation based on the synthesis of geological features displayed by southern African occurrences. In: Ross J., Jaques A.L., Fergusan J., Green D.H., O'Reilly S.Y., Danchin R.V., and Janse A.J.A. (eds.). Kimberlites and Related Rocks. Geol. Soc.

Australia, Sydney, Spec. Publ. 14, v. 1, p. 632-646.

- Damon P.E., 1971. The relationship between Late Cenozoic volcanism and tectonism and orogenic- epeirogenic periodicity. In: Turekian K.K. (ed). The late Cenozoic glacial ages. Yale Univ. Press, New Ha- ven, p. 15-35.
- Dansgaard W., Johnsen S.J., Clausen H.B., and Langway C.C., 1971. Climatic record revealed by the Camp Century ice core. In: Turekian, K. (ed.), The Late Cenozoic Glacial Ages. Yale Univ. Press, New Haven, p. 37-56.
- Davies H.F.L. and Heaman L.M., 2914. New U-Pb baddeleyite and zircon ages for the Scourie dyke swarm: A long-lived large igneous province with implications for the Paleoproterozoic evolution of NW Scotland. Precambr. Res., v. 249, p. 180-198.
- Denton G.H. and Porter S.C., 1970. Neoglaciation. Sci. Am., v. 222, p. 101-110.
- De Rita D., Funiciello R. and Parotto M., 1988. Carta geologica del complesso vulcanico dei Colli Albani. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome.
- De Rita D., Faccenna C., Funiciello R. and Rosa C., 1995. Stratigraphy and volcano-tectonics. In: Trigila R. (ed.), The Volcano of the Alban Hills. University La Sapienza, Rome, pp. 33-71.
- Donnelly C.L., Griffin W.L., Yang J.H., O'Reilly S.Y., Li Q.L., Pearson N.J., and Li X.H., 2012. In situ U- Pb dating and Sr-Nd isotopic analysis of perovskite: constraints on the age and petrogenesis of the Ku- ruman kimberlite province, Kaapvaal Craton, South Africa. J. Petrol., v. 53, p. 2497-2522.
- Eichler J., 1976. Origin of the Precambrian banded iron formations: In: Wolf K.H. (ed.), Handbook of stratabound and stratiform ore deposits. Elsevier, Amsterdam, v. 7, p. 157-201.
- Eldholm O.J. and Grue K., 1994. North Atlantic volcanic margins: dimensions and production rates. J. Ge- ophys. Res., v. 99, p. 2955-2968.
- Ernst R.E. and Buchan K.L., 1993. Paleomagnetism of the Abitibi dike swarm, southern Superior Province, and implications for the Logan Loop. Can. J. Earth Sci., v. 30, p. 1886-1897.
- Ernst R.E. and Buchan K.L., 2001. Large mafic magmatic events through time and links to mantle plume heads. In: Ernst R.E. and Buchan K.L. (eds.), Mantle plumes: Their identification through time. Geol. Soc. Am., Spec. Pap. 352, p. 483-575.
- Evernden J.F. and Curtis G.H., 1965. The Potassium-Argon dating of late Cenozoic in East Africa and Ita- ly. Curr. Anthropol., v. 6, p. 363-364.
- Fairbridge R.W. and Sanders J.E., 1977. The Sun's Orbit, A. D. 750-2050: Basis for new perspectives on planetary dynamics and earth-moon linkage. In: Rampino M.R., Sanders, J.E., Newman W.S., and Königs- son L.K. (eds), Climate-history, periodicity, and predictability. Van Nostrand Reinhold, New York, p. 446- 471.
- Field M., Gibson J.G., Wilkes T.A., Gababotse J., and Khutjwe P., 1997. The geology of the Orapa A/K1 kimberlite Botswana: further insights into the emplacement of kimberlite pipes. Russian Geol. Geophys., v. 38 (1), 24-39.
- Field M., and Scott Smith B.H., 1999. Contrasting geology and near-surface emplacement of kimberlite pipes in Southern Africa and Canada. In: Gurney J.J., Gurney J.L., Pascoe M.D., and Richardson S.H. (eds), Proc. 7th Intern. Kimberlite Conf., Cape Town, Red Roof Design, p. 214-237.

Fornaseri M., Scherillo A. and Ventriglia U., 1963. La

regione vulcanica dei Colli Albani (Vulcano La- ziale). CNR, Centro Min. Petr., Univ. Rome, p. 561.

- Fornaseri M., 1985. Geochronology of volcanic rocks from Latium (Italy). Rend. Soc. It. Mineral. Petrol., v. 4, p. 73-106.
- Freda C., Gaeta M., Palladino D.M., and Trigila R., 1997. The Villa Senni Eruption (Alban Hills, Central Italy): the role of H2O and CO2 on the magma chamber evolution and on the eruptive scenario. J. Volcanol. Geoth. Res., v. 78, p. 103-120.
- Friis-Christensen E. and Lassen K., 1991. Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate. Science, v. 254, p. 698-700.
- Fröhlich C., Andersen B., Appourchaux T., Berthomieu G., Crommelynck D.A., Domingo V., Fichot A., Finsterle W., Gomez M.F., Gough D., Jimenez A., Leifsen T., Lombaerts M., Pap J.M., Provost J., Roca Cortes T., Romero J., Roth H., Sekii T., Telljohann U., Toutain T. and Wehrli C., 1997. First results from Virgo, the experiment for helioseismology and solar irradiance monitoring on SOHO. Solar Physics, v. 170, p. 1-25.
- Goldschmidt V. M., 1922. Norske Vidensk. Selsk. Skrifter I Mat. Naturv. Kl. 10, l.
  Goodwin A.M., 1996. Principles of Precambrian geology. Academic Press, San Diego, Calif., 327 p.
  Hallam A., 1984. Pre-Quaternary sea-level changes. Ann. Rev. Earth Plan. Sci., v. 12, p. 205-243.
- Halls H.C., Li J.-H., Davis D., Hou G.T., Zhang B.X., and Qian X.L., 2000. A precisely dated Proterozoic paleomagnetic pole from the North China Craton, and its relevance to paleocontinental construction. Ge- ophys. J. Int., v. 143, p. 185-203.
- Hanson E.K., Moore J.M., Bordy E.M., Marsh J.S. and Howarth G., 2009. Cretaceous erosion in central South Africa: evidence from upper-crustal xenoliths in kimberlite diatremes. S. Afr. J. Geol., v. 112, p. 125-140.
- Haq B.U., Hardenbol J., and Vail P.R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. Science, v. 235, p. 1156-1167.
- Haq B.U., 2014. Cretaceous eustasy revisited. Global Planet. Change, v. 113, p. 44-58.
- Harlan S.S., Heaman L.L., LeCheminant A.N., and Premo W.R., 2003. Gunbarrel mafic magmatic event: A key 780 Ma time marker for Rodinia plate reconstructions. Geology, v. 31, p. 1053-1056.
- Harland W.B., 1981. The Late Archean (?) Witwatersrand conglomerates, South Africa. In: Hambrey M.J. and Harland W.B. (eds), Earth's pre-Pleistocene glacial record. Cambridge Univ. Press, p. 185-187.
- Hawthorne J.B., 1975. Model of a kimberlite pipe. Phys, Chem. of the Earth, v. 9, p. 1-15.
- Helffrich G.R. and Wood B.J., 2001. The Earth's mantle. Nature, v. 412, p. 501-507.
- Hirose K., Wentzcovitch R., Yuen D.A. and Lay T., 2015. Mineralogy of the deep mantle – The post- perovskite phase and its geophysical significance. In: Schubert G. (ed. in chief). Treatise on geophysics, 2nd edition. Elsevier, Oxford, v. 2, p. 85-115.
- Karner D.B., Marra F., and Renne P.R., 2001. The history of the Monti Sabatini and Albano Hills volca- noes: groundwork for assessing volcanic-tectonic hazards for Rome. J. Volcan. Geoth. Res., v. 107, p. 185- 219.
- Kiviets G.B. and Barton E.S., 1999. 40Ar/39Ar laser probe analysis of phlogopite from Marsfontein kim- berlite, Northern Province, South Africa. Unpublished Report, De Beers Geoscience Centre, 19 pp. Krijgsman W., Hilgen F.J., Raf I., Sierro F.J. and Wilsonk D.S., 1999.

Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. Nature, v. 400, p. 652-655.

- Krogh T.E., Corfu F., Davis D.W., Dunning G.R., Heaman L.M., Kamo S.L., Machado N, Greenough J.D. and Nakamura E., 1987. Precise U/Pb isotopic ages of diabase dykes and mafic to ultramafic rocks using trace amounts of badellyite and zircon. In: Halls H.C. and Fahrig W.F. (eds.), Diabase dyke swarms, Spe- cial Paper 34. Geol. Assoc. Canada, St. John's, NF, Canada, p. 147-152.
- Kumar A., Nagaraju E., Besse J., and Bhaskar Rao Y.J., 2012. New age, geochemical and paleomagnetic data on a 2.21 Ga dyke swarm from south India: Constraints on Paleoproterozoic reconstruction. Pre- cambr. Res., v. 220-221, p. 123-138.
- Kurszlaukis S. and Lorenz V., 1997. Volcanological features of a low-viscosity melt: the carbonatitic Gross Brukkaros Volcanic Field, Namibia. Bull. Volcanol., v. 58, p. 421-431.
- Kurszlaukis S., Lorenz V., Zimanowski B., and Buettner R., 1998. Experiments on explosive interaction of molten kimberlite with injected water. 7th Int. Kimberlite Conf., Cape Town, South Africa, Ext. Abstracts, p. 483-485.
- Lange R.A., Carmichael I.S.E., and Hall C.M., 2000. 40Ar/ 39Ar chronology of the Leucite Hills, Wyo- ming: eruption rates, erosion rates, and an evolving temperature structure of the underlying mantle. Earth Plan. Sc. Let., v. 174, p. 329-340.
- Locardi E., Funiciello R., Lombardi G., and Parotto M., 1975. The main volcanic groups of Latium (Italy): relations between structural evolution and petrogenesis. Guidebook Int. Colloq. Planetary Geology, Rome, p. 3-32.
- Lorenz V., 1985. Maars and diatremes of phreatomagmatic origin: a review. Trans. Geol. Soc. South Afri- ca, v. 88, p. 459-470.
- Lorenz V., 2003. Maar-diatreme volcanoes, their formation, and their setting in hard rocks or soft rock environments. GeoLines, v. 7 (Hibsch 2002 Symp.), p. 72-83.
- Marinos P.G., Koukis G.C., Tsiambaos G.C., and Stournaras G.C., Engineering Geology and the Environment. Proc. Int. Symp. IAEG Eng. Geol. and Envir., 23-27 June 1997, Athens, Balkema, Rotterdam.
- Marra F., Freda C., Scarlato P., Taddeucci J., Karner D.B., Renne P.R., Gaeta M., Palladino D.M., Trigila R. and Cavarretta G., 2003. 40Ar/39Ar geochronology of the recent phase of activity of the Alban Hills Volcanic District (Rome, Italy): implications for seismic and volcanic hazards. Bull. Volcanol., v. 65, p. 227-247.
- Marra F., Karner D.B., Freda C., Gaeta M., and Renne P., 2009. Large mafic eruptions at Alban Hills Vol- canic District (Central Italy): Chronostratigraphy, petrography, and eruptive behavior. J. Volcanol. Geoth. Res., v. 179, p. 217-232.
- Martin D.McB. and Morris P.A., 2010. Tectonic setting and regional implications of ca 2.2 Ga mafic mag- matism in the southern Hamersley Province, Western Australia. Austr. J. Earth Sc., v. 57, p. 911-931.
- Maurice C., David J., O'Neil J., and Francis D., 2009. Age and tectonic implications of Paleoproterozoic mafic dyke swarms for the origin of 2.2 Ga enriched lithosphere beneath the Ungava Peninsula, Canada. Precambr. Res., v. 174, p. 163-180.
- Mortari R., 1972. Alti livelli del Mare del Pleistocene superiore nel Mediterraneo centro-settentrionale. Annali di Geofisica. v. 25, p. 75-97.
- Mortari R., 1976. Riduzioni tettoniche nelle argille del

Santerno e di Castrocaro. Boll. Soc. Geol. It., v. 95, p. 1283-1292.

- Mortari R., 1977. Elementi per una nuova interpretazione della preconsolidazione delle argille. Geol. Appl. Idrogeol., v. 12, p. 189-200.
- Mortari R., Talone S. and Trastulli S., 1979. Una stratigrafia geotecnica nelle alluvioni recenti del Tevere presso Ponte Galeria. Boll. Soc. Geol. It., v. 98, p. 109-118.
- Mortari R., 1997. The discontinuous subsidence of postglacial sediments: A really imminent danger. In: Mortari R., 2010. I ritmi segreti dell'Universo. Aracne Ed., Roma, 336 p.
- Mortari R., 2017. Sea level changes and altimetric stability in the Central Mediterranean during theLate Pleistocene, with particular reference to Sardinia: Discrepancy between field data and current global sea level curves. NCGT Journal, v. 5, p. 549-575.
- Mortari R., 2020. The Great Tyrrhenian Transgression. NCGT Journal, v. 8, p.161-183 Naidoo P., Stefenhofer J., Field M. and Dobbe R., 2004. Recent advances in the geology of Koffiefontein Mine, Free State Province, South Africa. Lithos, v. 76, p. 161-182.
- Park J.K., Buchan K.L., and Harlan S.S., 1995. A proposed giant radiating dyke swarm fragmented by the separation of Laurentia and Australia based on paleomagnetism of ca. 780 Ma mafic intrusions in western North America. Earth Planet. Sc. Let., v. 132, p. 129-139.
- Parkinson J. H., Morrison L. V., and Stephenson F. R., 1980. The constancy of the solar diameter over the past 250 years. Nature, v. 288, p. 548-551.
- Peng P., Zhai M.G. and Guo J.H., 2006. 1.80–1.75 Ga mafic dyke swarms in the central North China Cra- ton: Implications for a plume-related break-up event. In: Hanski E., Mertanes S., Ramö T. and Vuollo J. (eds), Dyke Swarms - Time Markers of Crustal Evolution. Taylor & Francis, London, p. 99-112.
- Pestiaux P., Van der MerschI., Berger A. and Duplessy J.C., 1988. Paleoclimatic variability at frequencies ranging from 1 cycle per 10 000 years to 1 cycle per 1000 years: Evidence for nonlinear behaviour of the climate system. Climatic Change, v. 12, p. 9-37.
- Piper J.D.A., Jiasheng Z., Huang B. and Roberts A.P., 2011. Palaeomagnetism of Precambrian dyke swarms in the North China Shield: the 1.8 Ga LIP event and crustal consolidation in Palaeoproterozoic time. J. Asian Earth Sc., v. 41, p. 504-524.
- Pisarevsky S., De Waele B., Jones S., Söderlund U., and Ernst R.E., 2015. Paleomagnetism and U-Pb age of the 2.4 Ga Erayinia mafic dykes in the south-western Yilgarn, Western Australia: paleogeographic and geodynamic implications. Precambr. Res. v. 259, p. 222-231.
- Porritt L.A., Cas R.A.F., and Crawford B.B., 2008. In-vent column collapse as an alternative model for massive volcaniclastic kimberlite emplacement: an example from the Fox kimberlite, Ekati diamond mine, NWT, Canada. J. Volcan. Geoth. Res., v. 174, p. 90-102.
- Riforgiato F., Foresi L. M., Di Stefano A., Aldinucci M., Pelosi N., Mazzei R., Salvatorini G. and Sandrelli F., 2011. The Miocene/Pliocene boundary in the Mediterranean area: New insights from a high-resolution micropalaeontological and cyclostratigraphical study (Cava Serredi section, Central Italy). Palaeo-geog., climatol., ecol., v. 305, p. 310-328.
- Rosquist G., 1990. Quaternary glaciations in Africa. Quat. Sc. Rev., v. 9, p. 281-297.

Russell J.K., Sparks R.S.J. and Kavanagh J., 2019. Kimberlites volcanology: transport, ascent, and emplacement. Elements, v. 15, p. 405-410.

- Runcorn S.K., 1962. Towards a theory of continental drift. Nature, v. 193, p. 313-314.
- Salop L.J., 1983. Geological evolution of the Earth during the Precambrian. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 460 p.
- Schnitker D., 1980. Quaternary deep-sea benthic foraminifers and bottom water masses. In: Donath F.E. (ed.), An. Rev. Earth Planet. Sci., v. 8, p. 343-370.
- Scott Smith B.H., Orr R.G., Robertshaw P. and Avery R.W., 1998. Geology of the Fort à la Corne kimber- lites, Saskatchewan. Ext. Abstr. 7th Int. Kimberlite Conf. Red Roof Design, Cape Town, South Africa, p. 772-774.
- Scott Smith B.H., 2008. Canadian kimberlites: Geological characteristics relevant to emplacement. J. Volc. Geoth. Res., v. 174, p. 9-19.
- Segev A., 2000. Synchronous magmatic cycles during the fragmentation of Gondwana: radiometric ages from the Levant and other provinces. Tectonophysics, v. 325, p. 257-277.
  - Seghedi I., Maicher D. and Kurszlaukis S., 2009. Volcanology of Tuzo pipe (Gahcho Kué cluster) -Rootdiatreme processes reinterpreted. Lithos, v. 112S, p. 553-565.
- Sernander R., 1894. Studier ovfer den Gotlandska vegetationens utvecklingshistoria. Thesis, Uppsala, 112 pp.
- Shee S.R., Bristow J.W., Bell D.R., Smith C.B., Allsopp H.L. and Shee P.B., 1989. The petrology of kim- berlites, related rocks, and associated mantle xenoliths from the Kuruman province, South Africa. In: Ross J., Jacques A.L., Ferguson J., Green D.H., O'Reilly S.Y., Danchin R.V. and Janse A.J.A. (eds), Proc. 4th Intern. Kimberlite Conf., Perth, Australia, p. 90-82.
- Skempton A.W., 1970. The consolidation of clays by gravitational compaction. Quart. J. Geol. Soc. Lon- don, v. 125, p. 373-412.
- Soligo M. and Tuccimei P.G., 2010. Geochronology. In: Funiciello R. and Giordano G., (eds), The Colli Albani Volcano. IAVCEI ser., Spec. Publ. n. 3, Geol. Soc., London, p. 99-106.
- Sparks R.S.J., Baker L., Brown R.J., Field M., Schumacher J., Stripp G. and Walters A., 2006. Dynamical constraints on kimberlite volcanism. J. Volcan. Geoth. Res., v. 155, p. 18-48.
- Suess E., 1906. The face of the Earth, vol. 2, Clarendon Press, Oxford, 556 p.
- Tappe S., Steenfelt A., Heaman L.M., and Simonetti A., 2009. The newly discovered Jurassic Tikiusaaq carbonatite-aillikite occurrence, West Greenland, and some remarks on carbonatite–kimberlite relation- ships. Lithos, v. 112S, p. 385-399.
- Tappe S., Dongre A., Liu C.Z., and Wu F.Y., 2018. 'Premier' evidence for prolonged kimberlite pipe formation and its influence on diamond transport from deep Earth. Geology, v. 46, n. 10, p. 843-846.
- Tsuchiya T., Tsuchiya J., Unemoto K., and Wentzcotitch R.M.A., 2004. Phase transition in MgSiO3 perovskite in the Earth's lower mantle. Earth Plan. Sc. Let., v. 224, p. 241-248.
- Tyrväinen A., 1983. Sodankylän ja Sattasen kartta-alueiden kallioperä. Summary: Pre-Quaternary Rocks of the Sodankylä and Sattanen Map Sheet Areas. Geological map of Finland 1:100.000, Explanation to the Maps of PreQuaternary Rocks, Sheets 3713 and 3714. Geol.

Survey Finland, 59 p.

- Vail P.R., Mitchum R.M., and Thompson S., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: Relative changes of sea level from coastal onlap. In C.E. Payton (ed.), Seismic stratigraphy- Applications to hydrocarbon exploration. Am. Ass. Petroleum Geol. Mem., v. 26, 63-97.
- Van Couvering J.A., Castradori D, Cita M.B., Hilgen F.J. and Rio D., 2000. The base of the Zanclean Stage and of the Pliocene Series. Episodes, v. 23, n. 3. p. 179-196.
- Villa I.M., 1992. Datability of Quaternary volcanic rocks: an Ar40/Ar39 perspective on age conflicts in lavas from the Alban Hills, Italy. Eur. J. Mineral., v. 4, p. 369-383.
- Voltaggio M. and Barbieri M., 1995. Geochronology. In: Trigila R. (ed.), The volcano of the Alban Hills. University La Sapienza, Rome, p. 167-192.
- Wang Z.H., Wilde S.A., and Wan J.L., 2010. Tectonic setting and significance of 2.3–2.1 Ga magmatic events in the Trans-North China Orogen: new constraints from the Yanmenguan mafic-ultramafic intrusion in the Hengshan–Wutai–Fuping area. Precambr. Res., v. 178, p. 27-42.
- Wang B., Shu L., Liu H., Gong H., Ma Y., Mu L., and Zhong L., 2014. First evidence for ca. 780 Ma intraplate magmatism and its implications for Neoproterozoic rifting of the North Yili Block and tectonic origin of the continental blocks in SW of Central Asia. Precambr.

Res., v. 254 p. 258-272.

- Wang C., Peng P., Wang X., and Yang S., 2016. Nature of three Proterozoic (1680 Ma, 1230 Ma, and 775 Ma) mafic dyke swarms in North China: Implications for tectonic evolution and paleogeographic reconstruction. Precambr. Res., v. 285, p. 109-126.
- Watkins S.D., Giordano G., Cas R.A.F. and De Rita D., 2002. Emplacement processes of the mafic Villa Senni Eruption Unit (VSEU) ignimbrite succession, Colli Albani volcano, Italy. J. Volcan. Geoth. Res., v. 118, p. 173-203.
- Widdowson M., Pringle M.S., and Fernandez O.A., 2000. A post K-T boundary Early Palaeocene age for the Deccantype feeder dykes, Goa, India. J. Petr., v. 41, p. 1177-1194.
- Zhang C.L., Zou H.B., Wang H.Y., Li H.K., and Yea H.M., 2012. Multiple phases of the Neoproterozoic igneous activity in Quruqtagh of the northeastern Tarim Block, NW China: Interaction between plate sub- duction and mantle plume? Precambr. Res., v. 222-223. p. 488-502
- Zolitschka B., 1986. Warvenchronologie des Meerfelder Maares (Westeifel) - lichtund elektronenmikroskopische Untersuchungen spätglazialer und holozäner Seesedimente. - Dipl.-Arb., Fachber. Geogr. / Geowiss., Univ. Trier, 119 p.

## NCGTジャーナルについて

NCGTニュースレター(現在のNCGTジャーナルの前身)は、1996年8月に北京で開催された第30回国際地質 学会議でのシンポジウム "Alternative Theories to Plate Tectonics"での議論から始まった。その名称は、1989 年にワシントンD.C.で開催された第28回国際地質学会議に関連して開催されたシンポジウムの名称に由来してい る.NCGTニュースレターは1996年12月に創刊され、2013年にNCGTジャーナルに名称を変更した。

NCGTジャーナルの目的は以下の通りである:

1. 地質学,地球物理学,太陽惑星物理学,宇宙論,気候学,海洋学,電気宇宙論 (electric universe),その 他,地球の核から大気圏の上部に至るまで,地球上で起こっている物理過程に関連ないしは影響を及ぼしている 分野において,新しいアイデアやアプローチを自由に交流するための国際フォーラムを提供すること.

2. 支配的な地殻モデルの領域に収まらない創造的なアイデアのための組織的な目標を創り出すこと.

3. とくに検閲や差別があった場合には、そのような研究の転載と出版の基礎を構築すること、

#### 投稿要領

原稿,手紙,記事,メモは Microsoft Word 文書,余白,上2.54 cm,下1 インチ,左右1.27 cm, 1/2 イン チで提出すること.フォントは Times New Roman とする. 画像は圧縮されていない png, tiff フォーマットと し, Jpeg は不可とする. PDF は受け付けない.容量は最小が望ましい. 言語は米国英語. ページやセクション の改行は認められない. すべての図表は,個々の画像ファイルとして提出し,テキストに貼り付けないこと.表 は Microsoft Excel のワークシートとして提出.

テキストの編集には Microsoft Word を使用し、テキストや画像の組版には、Microsoft Publisher または Affinity Publisher を使用して誌面のレイアウトを行う. Word はライティング/編集用のワードプロセッサ、 Publisher と Affinity Publisher はレイアウトを重視する特定のデスクトップ・パブリッシング・アプリケーション.