[、] ^{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

An international journal for New Concepts in Global Tectonics

	日本語版 Vol. 9, No. 1(2021年3月)			■ Printedition ISSN 2202-0039		
				Onlineedition <nt< p=""></nt<>	tps://www.ncgtj.org/>	
State of the second sec	Paraticular According to	編 集 長 : Loui 編集委員: Brud Giov Yosl Per	is A.G. HISSINK ce LEYBOURNE vanni P. GREGO nihiro KUBOTA, MICHALESEN,	(louis.hissink@bigpond , USA (leybourne@iasc RI, Italy (giovanni.grego Japan (yokbt@icloud.co Mongolia (perm@must.	.com) c.org) pri@idasc.cnr.it) pm) edu.mn)	
			目次			
■ 編集	者から From the Editor				[小松宏昭 訳]	•••••2
■ 手紙	Letter to the Editor	編集長のへの手紙	NCGTジャーナ	ール日本読者有志	[小松宏昭 訳]	2
■ 原著	論文					
Space (e weather and geomagnetic G. Cataldi, D. Cataldi and V. 2021年2月13日に日本	activity related to Chile Straser で発生したM7.1の地	ean M6.7 earthqua 震に関連した宇宙	ake recorded onFebruary 3 目気象と地磁気の活動	5, 2021 [小松宏昭 訳]	••••3
On a	hypothetical mechanism tr /. Gordienko, L. Gordienko アルプス地向斜で地殻の	iggering crustal earthq D地震を誘発する仮説的	uakes in alpine geo 的メカニズムにつ	osynclines いて	[赤松 陽 訳]	••••3
Space	weather and geomagnetic	activity related to the J	apanese M7.1 ear	thquake recorded on Febr	uary 13, 2021	
	G. Cataldi, D.Cataldi and V. 2021年2月13日に記録	Straser 录された日本のM7.1地	震に関連する宇宙	国気象と地磁気の活動	[小松宏昭 訳]	• • • • • 8
Space	weather and geomagnetic	activity related to M6+	global seismic act	ivity recorded on Februar	y 7, 2021	
(2021年2月7日に記録	されたM6+の世界的な	地震活動に関係し	った宇宙気象と地磁気の滞	動 [赤松 陽訳]	•••••12
The s	significance of vertical dyke	es in earth history				
(地球史における垂直な	岩脈の意義			[小泉 潔 訳]	• • • • • • 13
Char	acteristics of earthquake d	istribution in the Japan	ese archipelago, P	late tectonics has not caus	ed earthquakes	
I	M. Shiba 日本列島の地震分布の	特徴 –プレートテクト	ニクスで地震は起	显こっていない_	[柴 正博 訳]	• • • • • • 18
Hydr	rocarbon potential of Sost A	Aulacogen, Karakoran:	an overview			
	カラコルム ススト・ ゴジャーナルについて	オーラコゲンの炭化水	素ポテンシャル:	概要	[岩本広志 訳]	• • • • • • 26

※ 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, 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

(小松 宏昭 訳)

今回の NCGT JOURNAL は、前号に引き続き、イタリアの研究者 G. Caltaldi, D. Calaldi そして V. Straser による宇宙気象の変動によって引き起こされたと考えられる2021年のいくつかの地震に関する追加報告が掲載さ れている. V. Gordienko と L. Gorodienko は、地殻内部で起こる地震を引き起こすメカニズムに関する新しい 仮説を提案している. Cliff Ollier の論文は、地球史において垂直に発達する岩脈の意義に関する刺激的なもので ある. M. Shiba の論文は、日本列島における地震分布の包括的な分析を行なったもので、プレートテクトニク スはこれらの地震の原因とはなり得ないと結論している。そして最後の論文はパキスタン地域の炭化水素の可能 性に関する概略を論じている。

個人のウェブ・ブログが予告なしにキャンセルされることが増えているようだが、ブログの所有者には何の助 言も指導もない.とくに編集者(私)が知っているあるウェブ・ブログは、何の説明もなく私が主催する討論の 場から突然削除された.そのため私は、NCGTジャーナルのウェブサイトが科学的な誤りを指摘されて取り消さ れた場合に備えて、NCGTのニュースとジャーナルの発行物すべてが安全に保管されていることを確認した.

加えて最近私は、地球表面の生物圏よりも巨大な地中深くに大量に埋もれている生物圏の発見について学習した。しかし、奇妙なことにこの話題についての報告は、2018年中に停止したようである。ことによると、そのような巨大な地下 5km より深い場所に埋もれている生物圏の存在は、故 Tommy Gold の仮説を支持するのかもしれない。彼は著書「地下深部の熱い生物圏」における石炭の堆積についての革新的な説明の中で、石油生成の非生物的な説を提案している。そして、この深部の生物圏はメタンを大量に発生させているので、人々はこの最近の発見には政治的な関連があるといぶかしげに思うかもしれない。

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

編集長への手紙 Letter to the Editor

(小松 宏昭 訳)

親愛なるNCGTジャーナル編集委員長 Hissink 様

私たち日本読者有志は、昨年末に発刊された NCGTジャーナル 8.3 "From the Editor"欄を大きな 喜びと貴殿への感謝の気持ちで拝読しました.

NCGT ジャーナルの誌名変更の提案に対する私たちの意見を掲載していただいた貴殿の寛容な姿勢 に再度謝意を表します.これからもNCGTジャーナルのますますの発展に向け,貴編集委員長への大き な信頼とともに歩んでいく所存です.

NCGTジャーナル日本読者有志

原著論文 ARTICLES

2021年2月13日のM6.7のチリ地震に関わる宇宙気象と地磁気の活動 Space weather and geomagnetic activity related to Chilean M6.7 earthquake

recorded on February 3, 2021

Gabriel Cataldi¹, Daniele Cataldi², Valentino Staser³

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

(小松 宏昭 訳)

要旨

2021年2月3日5時23分44秒(世界時間)マグニチュード6.7の地震がチリ西海岸で発生した.著者らは太陽活動や地磁気の活動を注視しているが、今回のチリで起きた地震に先立って(惑星間の地震の前兆現象としての) 太陽風の陽子密度の増加や(地震の地磁気前兆現象としての)地球の地磁気活動が活発化したことを強調したい.そしてまた、世界規模で観測されたすべての潜在的な被害地震は、常に太陽活動が活発化した後に起こっていることを確かめることができる.

Keywords: 陽子密度の増加, 地震前兆現象, 太陽活動, 地磁気活動, 地震予知

アルプス地向斜で地殻の地震を誘発する仮説的メカニズムについて On a hypothetical mechanism triggering crustal earthquakes in alpine geosynclines

Vadim Gordienko and Lyndmila Gordienko

Institute of Geophisics,National Academy of Sciences,Kiev,Ukraine tectonos@igph.kiev.ua

(赤松 陽訳)

要旨:アルプス地向斜では,堆積層は2つの部分から成り立っている.現世の活動期間に,上部は続成 作用と退行進化の段階で変形を受けた.下部は,花崗岩化作用を含む変成作用の段階を経験した.最 上部では,密度の増加とともに地震波速度が増大していた.しかし,この一連の変化は,結晶質岩の 場合ほどは,激しくはなかった.これは,速度が 6km/sec に近づくにつれて,メタペライト (泥質変 成岩)の密度が,"花崗岩質"層の上部を構成する下位の岩石の密度より,約 0.1g/cm³ だけ増加したか らである. 圧縮をうけていない厚さ 4km の岩体の隆起は,おそらく 10km~12km は超えなかったで あろう.物質の動きが記載されたパラメータは,関連地震がアルプス造山帯で相当広範に及んでいるこ とを示唆している.比較のために,メキシコとアンデスのララミー変動を本論に付け加えた.予知され た地震はアルプス造山帯全域に記録されていた.アルプス造山帯以外の地域では,同じ深さの地震が別 のメカニズムによって引き起こされる可能性がある.その一つは,最近の活発化で起こった地殻ブロッ クの垂直運動の可能性が大きい.

はじめに

これまでの論文 (Gordienko, 2017b) で,最近の活 動期の地震は,アルプス地向斜の上部地殻内で,初生 堆積岩の変形が,異なる広がりをもった地層間の境界 面で誘発されることを述べた (Gordienko, 2017b). 記載される現象の妥当性を支持する理由を以下に列挙 する.

多くのアルプス造山帯において、1,000万年~ 3,000万年間の褶曲時相を伴う新しい堆積層は、ヘル シニアン (2.5億~3億年)、カレドニアン (5億~6億 年), バイカリアン (9億), ゴシアン (12億年) の各岩 層の上位にある。一連の被覆層の総厚は、10~15km に達する. 最近の活動期(約 0~700 万年)における 変形レベルは、続成作用的であり退行進化的 (系統発 生の過程における退化) である。一連の下部層は、花 協岩化作用を含む変成作用の段階を経て,部分的に結 晶質基盤になった. そこでは密度 (σ) の逆転ゾーン が形成された、その過程は、地殻物質の移動と地震を ひき起こしたであろう、そのゾーンのパラメータは、 とくにカルパチア山脈について述べられており、関連 文献は論文 (Gordienko et al., 2011) に掲載されてい る、地震波の縦波 (Vp) 速度の逆転がないことは、同 じ深さの範囲内(約 6~18km)に記録されるはずであ る. これは、密度 σ と地震波速度 Vp の関係の類型 が、堆積層と基盤岩に対しては同じでないという事実 によって説明できる。密度の逆転ゾーンは広範囲には 及ばない. それは、褶曲帯全域あるいはより広汎な地 域の下位には、強い塩基性化作用を伴った領域が全体 的に欠けているからであろう (太平洋地域で典型的).

地殻物質の変位を詳細に解析すれば,予測され観測 された事象間の相関関係に興味がもたれるかも知れない.しかし,異なる性質をもちながらも同時に起こる 地殻地震は,そのような相関関係の結論をゆがめるか もしれない.最近の活発化したアルプス地向斜の場 合,すでに述べた地震のタイプに加えて,別のものも あるだろう.たとえば,

1) これらは、一連の最も新しい岩石が、(0~6km の 間の深さで) 基盤隆起体を滑り落ちる間、ずっと、褶 曲の過程と関連づけられた。

2) マグマ性の地震 (深さ 25~30km で発生する大き な地殻の震源を伴い, 噴火場所へのマグマ上昇の通り 道の 0~25km で起こる).

3) 下部地殻の中, そしてマントル (25km 以下) の中 ヘ, エクロジャイト化された岩体が押し込まれる運動 によって引き起こされる地震 (Gordienko, 2017b).

けれども,大量の証拠の分析は,予想される深さでの 震源の集中を明らかにするだろう.私たちの処理の時 点で,地向斜の地殻ブロックの大規模な垂直移動に関 するデータを持つことを考えればなおさらである. そ のような変動は,カルパチア山脈で (Gordienko et al., 2011; Danilovich, 1988) – アルプスでは 30km 以下 (Alps…, 1978) – 同様に UHP 岩塊地域では 20km 以下 – のより深い深さの範囲内で観察された (Gordienko, 2018).

ブロック移動のパラメーター

さらに沈降する過程で,温度と圧力が上昇すると, それに伴い変成作用が起こり,約 400℃ で退行進化 的なレベルに達する (図1).



図1. メタペライト(泥質変成岩)の温度の作用による密度変化と、関連した岩石中の地震波速度の変化:1(A)-孤立した岩石サンプルに基づいたデータ: 2(B)-一群のサンプルの平均データ.

密度の増加は、地震波速度の増大を伴うが、この過程は結晶質岩の場合より強くない.これは、速度が6km/sec に達するとき、メタペライトの密度が、"花崗岩質"層上部の下位にある岩石の密度を、約0.1g/cm³上回っているからである (Gordienko,1999).厚さ4kmの非圧縮岩体の隆起は、おそらく10~12kmである.

変位は、岩塊の強度を上まわった時にだけ可能となる. このパラメータの推定値は、さまざまな実験デー タでかなり類似しており、その内のいくつかを図3に 示す.

異常な密度の岩体が及ぼす圧力は、岩石強度(約 0.01hPa)より数10倍も小さい.しかし、アルプス造 山帯では、そのような深さの地震は珍しくない.他の 潜在的な発生源に関する応力を評価しても、それ以上 の数値は得られない.岩石の流動化作用は、急激にそ の強度を下げる.褶曲したカルパチア山脈の温度が高 いことからみれば、図2に示されている温度分布は、 前縁盆地の縁を表している.深さ 20km 以上の場で は、部分溶融した角閃岩の最上部層が分布している. その上位には、溶融過程で形成された流体を含む岩石 が覆っている.流体の存在は、電気的伝導性が異常に 高いゾーンによって確認される(Gordienko et.al., 2011).高い可塑性が応力の集中を妨げるので、地震



図2.カルパチア山脈の地殻の岩石の温度 (T),地震 波速度,および密度の分布図

は,パラメーターが高い値を示す地域では希である (Koloskov et al., 2016) (図4).

これは、岩盤の完全な状態を乱す差応力としての強 度の概念を変えてしまう. 地殻のゼノライト (Xenolite)の古期変位 (paleodislocations)の研究 は、ある特定の地質年代に、粒子間すべりを伴う変位 が、比較的小さな応力 (0.1~0.05GPa)で起こること を示している (Chen et al., 2006, 2007, Dimanov et al., 2005). 地震によって放出された応力は、さらに 小さく 0.001~0.01GPa (Yanovskaya, 2006)であ る.

ストークスの方程式によれば、岩石物質の流れる速 度は、 $v=1.5\Delta\sigma$ ・g・r²/ η 、ここで $\Delta\sigma$ は密度異 常、g は重力加速度、r は移動体の半径、 η は粘性率 である。粘性率は、問題となる状況に応じて、さまざ まな研究方法から、10,2021Pa・sec と推定される (Gordienko, 2017a). 具体的な速度は、0.1~1.0cm/ 年に達する. 言いかえれば、密度の反転過程がスムー ズに行われるには、約 200 万年が必要となるだろ う. そのようなイベントは、ほとんど個々の時期に起 こるようである. いずれにしろ、このようにして、地 表の垂直変位が現れる (Study…, 2005) (図5).

その過程は、"オーボワン波" (Aubouin wave) 速度 で褶曲帯を横切って進むであろう。例えば、カムチャ



図3. A-深さと温度の関数としての地殻岩石の強度 (Gordienko, 2017c); B-安山岩の強度に対する密度 (Ladygin et al., 2004).

ツカに向かう. それは, 現世の活発化期では, マグマ 活動の出現時期の観点から-およそ10cm/年と見積も られる (Koloskov et al., 2004) (図5).



図4. カルパチア山脈のSユニットにおける深度 7~ 13km での (1) 地震の震央および (2) 次第に増大す る水平の電気伝導度 (Kovachikova et al., 2016).

実験に基づくデータ

物質移動のパラメータを見ると,(変位と)密接に関 連のある地震は,アルプス造山帯でかなり広範囲に及 んでいることを示している.比較のために,本論には メキシコとアンデスのララミー変動も含めた(褶曲年 代は約7,000万年で,活発化は2,500万年前に始ま った).私たちは,2006年と2018年の期間を超えて, 深さ40km 以深の震源(International…,)から取りか かった.

これらのデータは,各地域の地震活動を完全に解析 するには決して十分ではない.私たちは通常,比較的



図5. 褶曲したカルパチア山脈 (1) およびカルパチ ア舟状海盆 (2) における垂直運動の割合.



図6. テチスおよび太平洋帯での地震深度の分布パターン (International...and others). 推定された深度幅は 灰色で示されている. 地域番号:1-ピレネー山脈, 2-アルプス山脈, 3-アペニン山脈, 4-カルパチア山脈, 5-バルカン山脈 (半島), 6-黒海, 7-ダゲスタン, 8-エルブールス山, 9-コペトダグ山脈, 10-ザグロス山脈, 11-ヒンドゥクシュ, 12-ヒマラヤ山脈, 13-ビルマ, 14-スマトラ, 15-カムチャツカ, 16-千島列島, 17-北海 道, 18-九州, 19-ニュージーランド, 20-アラスカ, 21-コルディレラ カスケード山脈, 22-コルディレラ海岸 山脈, 23-シェラ・マドレ西部, 24-コロンビアのアンデス山脈, 25-チリ中央部のアンデス山脈, 26-チリ南 部のアンデス山脈.



図7. テチス地向斜帯と環太平洋地 域

褶曲帯:1) アルプス造山帯,2) 環太平 洋のララミー変動帯,地域の名称は図6 の数字に対応している.

狭い地域のデータを使用した. ある場合には, 異なる 他の著者が異なる期間に行った一般的データを引用し た (Gorshkov, 1987; Nazarevich, 2012; ほか). ほと んどの場合, 深さに対する震源の分布を示すグラフの 間隔は 5km とした. これは, 少なくとも 3km の潜 在的な誤差のためである (Shevchenko et al., 2019; Seismological…, 2004, 2006, Tarakanov, 2006 ほ か). 地震の発生回数は, 地域によって大きく異なって いる. したがって, その分布状態は, 最大値に相当す る値で構成された (図6).

予測される地震は、すべてアルプス造山帯全体の内 部に記録されてきた.他の深さの地震イベントは、頻 繁ではないにしろ、テチスで 100%、太平洋帯その他 sで 70% 報告されてきた. それらは小 さい震源域とともに,深さ毎に区分されていた. それ 以外の場合では,他の深さで(原因が異なるのかも知 れないが),より広範囲に拡がっている. それらに は、ララミー変動のアンデス山脈の部分を含まれてい る. これは,私たちの予測と矛盾しない.以上の仮説 は立証されてきた.事実,アルプス造山帯以外の地域 でも,同じような深さの地震が別のメカニズムで引き 起こされる可能性がある. その一つは,たぶん,現世 の活発期で,破砕を伴う地殻ブロックの垂直運動であ ろう. 関連する例を図8に示す.



図8. 盾状地における地震深度分布のパターン (International,,,and others)

1- バルト盾状地 2- カナダ盾状地 3- 西オーストラ リア盾状地 4- ヴォロネジ結晶質盾状地の斜面 5-ウクライナ盾状地の斜面.

結論

この結論は、著者らが提唱する地質学的な理論に基づいた予測を部分的に裏付けている.この理論に基づいて、地向斜や現世の活性化ゾーンにおける深部過程 モデルが構築されている.しかし、今回の予測では、 このような作用で形成された異なる組成をもつ岩石の 物理的特性に、PT条件が与える影響に関するデータ に大きく着目した.前記の情報もまた、裏付けられて きた.しかし、私たちの予測は最終的で、議論の余地 がないものとは言えない.可能性のある他のパラメー タの評価に基づいた手法の取り組みを行うことによ り、多くの地域に拡大される可能性がある.

文献

- Alps, Apennines, Hellenides. Eds.: H. Closs, D. Roder, K. Schmidt. Stuttgart: Nägele und Obermiller. 1978. 620p.
- Chen S, Hiraga K, Kohlstedt D. Water weakening of clinopyroxene in the dislocation creep regime. J. Geophys. Res. 2006.B08203/
- Chen, X., Lin, C., Shi, L. 2007. Rheology of the lower crust beneath the northern part of North China: Inferences from lower crustal xenoliths from Hannuoba basalts, Hebei Province, China. Science in China Series D: Earth Sciences. 2007. 8, pp. 1128-1141.
- Danilovich Yu.Z. Rock-forming minerals and metamorphism of the crystalline basement of the Ukrainian Carpathians. Kiev: Naukova Dumka. 1988.167p. (in Russian).
- Dimanov A, Dresen G. Rheology of synthetic anorthitediopside aggregates: implications for ductile shear zones. J. Geophys. Res. 2005. v.110: B07203, doi:

10.1029/2004JB003431.

- Gordienko V.V. Density models of the tectonosphere of Ukraine. Kiev: Intellect. 1999. 101p. (in Russian). Gordienko V.V. On the viscosity of the tectonospheric matter of continents and oceans. Geology and minerals of the World Ocean. 2017a. 1.pp.45-57. (in Russian).
- Gordienko V.V. Thermal processes, geodynamics, deposits. 2017b. 283p. https://d4d10b6a-c83d-45d7b6dc-b2c3ccafe1ce.filesusr.com/ugd/ 6d9890_c2445800a51b49adb03b8f949f3d6abb.pdf
- Gordienko V. Deep-seated processes and seismicity. NCGT Journal. 2017c. 2. pp. 176-201.
- Gordienko V. Deep-seated processes and diamond-bearing rocks. NCGT Journal, 1. 2018. p. 4-20. Gordienko V.V., Gordienko I.V., Zavgorodnyaya O.V ,Kovachikova S., Logvinov I.M., Tarasov V.N.,
- Usenko O.V. Ukrainian Carpathians (geophysics, deep processes). Kiev: Logos. 2011. 128p. (in Russian). Gorshkov G.P. Seismotectonics of the Kopetdag. Moscow: Nauka. 1987. 50 p. (in Russian).
- International Seismological Centre, On-line Bulletin, http:// www.isc.ac.uk.
- Koloskov A.V., Anosov G.I. Sketches of the vortex concept of the development of the West Pacific
- transition zone in the Cenozoic. Materials of the IV International Meeting on Processes in Subduction Zones. Petropavlovsk-Kamchatsky. 2004.pp. 95-96. (in Russian).
- Kovachikova S., Logvinov I.M., Peck J., Tarasov V.N. Modeling the earth's crust of Ukraine based on the results of magnetotelluric studies using new inversion techniques. Geophys. J. 2016. 6. pp. 83-100. (in Russian).
- Ladygin, V.M., Girina, O.A. & Frolova, Y.V. Petrophysical features of lava flows from Bezymyannyi Volcano, Kamchatka. J. Volcanolog. Seismol. 2012. 6, pp.341– 351.
- Nazarevich L, Nazarevich A. Seismicity and deeds in the particularity of seismotectonics of the Ukrainian Carpathians. Geodynamics. 2012.1.pp 145-151. (in Ukrainian).
- Seismological Bulletin of Ukraine for 2004. Sevastopol: NPC Ekosi-Hydrophysics. 2004.166p. . (in Ukrainian).
- Seismological Bulletin of Ukraine for 2006. Sevastopol: NPC Ekosi-Hydrophysics. 2006.295p. (in Ukrainian).
- Shevchenko V. I., Lukk A. A., Guseva T. V. Autonomous and Plate-Tectonic Geodynamics of Some Mobile Belts and Mobile Edi ices. Moskov: GEOS, 2017. 612 p. (in Russian).
- Study of the current geodynamics of the Ukrainian Carpathians. Ed. V.I. Starostenko. Kiev: Naukova Dumka. 2005. 256p. (in Ukrainian).
- Tarakanov R.Z. Velocity models and hodographs of Pwaves for the Far Eastern region. Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy 2006. 1. pp. 81-95. (in Russian).
- Yanovskaya T. B., Fundamentals of Seismology. Saint-Petersburg: VVM. 2006. 288p. (in Russian).

2021年2月13日に記録された日本のM7.1地震に関連する 宇宙気象と地磁気の活動

Space weather and geomagnetic activity related to the Japanese M7.1 earthquake recorded on February 13, 2021

Gabriel Cataldi¹, Daniele Cataldi², Valentino Staser³

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

(小松 宏昭 訳)

要旨

2021年2月13日14時7分50秒(世界時間),マグニチュード7.1の地震が,日本の深さ49.9kmで記録された. 筆者らは太陽活動と地球の地磁気の活動の分析から,太陽活動の活発化とそれによってもたらされる地球の地磁 気の活動の活発化(2011年以降のM6以上の世界的な地震活動に関連する著者らの電磁的性質の現象)によりマ グニチュード7.1の地震が起こったことを立証した.

Keywords: 陽子密度の増加, 地震の前兆, 太陽活動, 地磁気活動

はじめに

日本は造構運動の観点から,北アメリカプレート, 太平洋プレート、フィリピン海プレートそしてユーラ シアプレートに影響された地理的な場所に位置してい る. この特徴は、日本を地球上で地震活動が最も盛ん な場所で、最も地震の危険度の高い地域にしている。 2012年から2020年の間,筆者たちは、2012年から 2020年の間に得られた結果を [1][2][5][6][7][12][13] [19][20][21][23] の論文で確かにし、日本で起きた地 震(図1)は、太陽活動と地球の地磁気活動に密接に 関係していることを強調した。地球規模で記録されて いる潜在的で破壊的な地震は、地震に先立って常に太 陽からのイオン密度(特に陽子密度)の増加と、それ に続く地球の地磁気の活動が起こっている [1-24の論 | 文]. 2021年2月13日14時7分50秒(世界時間)に起 こったマグニチュード7.1の地震は、まさに太陽から のイオン流の増加する時(それはまた地磁気の活動の 活発化を生み出している)に起こっている.

データ解析

協定世界時(UTC) 2021年2月10日20時30分にL1 軌道上にあった DSCOVR 人工衛星のデータにより提 供されたデータに感謝する.筆者らは同2月14日2時 00分に終了した太陽風の陽子密度の増加の追跡を始 めた.そしてその最大のピークは2月13日1時23分に 達した.4つの大きな地震がこの陽子密度が増加して いる時期に発生した(図2).



図1 上の図はM 7.1日本地震の震央. 日本の地図 と2021年2月13日14時7分50秒(協定世界時)に記 録されたM7.1地震の震央を示す. 著作権:USGS, 電波発信事業.



図2 2021年2月10日から14日の間の陽子の増加に 関連した潜在的な破壊地震の発生-図は2021年2月 10-14日に記録された陽子の増加に関連した潜在的 破壊地震の震央を示す.著作権:USGS,電波発信事 業.



図3 惑星間と地磁気の地震前兆:上に示したグラフ は2021年2月10日と24日の間に記録された太陽から の陽子密度の増加(惑星間の地震の前兆)にともな う4つの地震の発生時期(黒矢印)を示している.陽 子の増加は地震の前兆となる2つの地磁気の増加(グ ラフの黄色い部分)を生み出した.著作権:USGS, 電波発信事業.

- M6.2 Loyalty 諸島 時刻:2021年2月10日21時 24分(協定世界時)
- M6.0 Loyalty 諸島 時刻:2021年2月11日6時 52分(協定世界時)
- M7.1 日本 時刻:2021年2月13日 14時7分 (協定世界時)

4. M6.0 パプアニューギニア 時刻:2021年2月 13日15時33分(協定世界時)

DSCOVR衛星によって提供された2021年2月10日-14日の間の宇宙天気のデータを合わせた4つの地震の データを解析することで,筆者らは陽子の増加(惑星 間空間の地震の前兆現象)開始時期と4つのマグニ チュード6以上の地震の時間間隔を計算することがで きた.

- M6.2 Loyalty 諸島 時刻:2021年2月10日21時 24分およそ1時間
- M6.0 Loyalty 諸島 時刻:2021年2月11日 6時 52分およそ10時間
- 3. M7.1 日本 時刻:2021年2月13日 14時7分お よそ66時間
- 4. M6.0 パプアニューギニア 時刻:2021年2月13日 15時33分およそ67時間

地震活動と2012年1月1日と2021年2月18日に起 こった太陽活動の分析によって計算された平均時間間 隔は108.8時間である。その平均時間は、同じ時期に 起こったM6以上の1,192の地震の分析によって計算さ れた。上記4つの潜在的で破壊的な地震の間には、 2021年2月10日から14日の間に起こった(太陽風か らの)陽子の増加と関連があり、筆者らは日本で起 こったM7.1の地震に特に注目した。というのは、 2021年2月12日12時から2月13日20時までの間に確 認された地磁気の(磁力線の)増加のすぐ後に起こっ たこの地震は、マグニチュードが他の3つの地震より 大きいからである。この地磁気の増加は、弱い磁気嵐 を伴っている(図4、訳者註:図3の誤りか)。

地球の磁気圏の乱れ(IMF)(図4)と太陽からの イオン速度の増加は、太陽活動と地球磁気圏の間の連 動した機能を通じて AL IndeX と DST IndeX の増加 がなぜ記録されたのかを説明する(図5).一時的な 観点から、太陽活動と地球の地磁気活動は、それらと 関連した地震と互いに密接に結びついている一連の電 磁気現象を示している.

太陽活動と日本で起きたM7.1地震の相関性を確か なものとするために,筆者らは,地震発生前,約18時 間以内に生じた惑星内部の磁気圏の乱れを確認した (図4).さらに,太陽風の粒子の速度の分析によ り,日本で起きたM7.1の地震の前24時間以内の太陽 からのイオンの流れの速度が急激に増加したことを確 認した(図5).これら2つの現象は,筆者らが「惑星 間の地震の前兆現象」または ISP として明らかにして きた太陽の電磁気活動である.というのは,それらは 地球規模で記録される高マグニチュードの地震に先

立って観測されるからである.

地球の磁気圏の乱れ(IMF)と太陽からのイオン速 度の増加は,太陽活動と地球磁気圏の間の連動した機 能を通じて AL IndeX と DST IndeX の増加がなぜ記 録されたのかを説明する(図4).一時的な観点か ら,太陽活動と地球の地磁気活動は,それらと関連し た地震と互いに密接に結びついている一連の電磁気現 象を示している.背景に一連の電磁気的な事件がある ことによって,惑星間空間の太陽イオン粒子の流れの 密度変化の原因となる電磁気タイプを最初の地震の前 兆と見ることが可能である.筆者らはこの地震の前兆 現象を「太陽による地震前兆現象」と呼んだ.この用 語は光球や地球から観測できる彩層やコロナの中に見 ることができる電磁気的な現象に帰するものである.

a) コロナホールと高速の太陽風 (HSSW);

b) 太陽黒点と磁気の輪;

c) フレアとコロナの粒子の塊の吹き出(CMEs);

結論

地球の地磁気の活動の観測と結びつけられた太陽活 動の観測は、太陽を起源とする電磁気的な現象と、 我々の惑星で記録された破壊的な地震との密接なつな がりについて重要で確かな指摘を提供し続ける [23] [24]. 2021年2月13日に記録された日本のM7.1地震 に関して、筆者らが関連づけた太陽と地磁気のデータ は、太陽活動と地磁気の観測が今後の地震の発生予測 により確かな指標を与えるものである. このタイプの 相関関係に関する最初の重要な研究は1960年から 1970年の間に行われた [25][26][27][28] が、筆者ら は太陽活動と地球の地磁気の活動に監視と分析に基づ く一つの新しい、そして革新的な地震予知の方法の原 理は、筆者らによって2012年から今日までこの調査 地域で得られた研究の成果[24]と地殻の診断に貢献し た科学技術の進歩によって築かれたと確信している.

文献 (Credits)

- [1] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2013). Variations Of Terrestrial Geomagnetic Activity Correlated To M6+ Global Seismic Activity. EGU (European Geosciences Union) 2013, General Assembly, Seismology Section (SM3.1), Earthquake precursors, bio-anomalies prior to earthquakes and prediction, Geophysical Research Abstracts, Vol. 15. EGU2013-2617, Vienna, Austria. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- [2] G. Cataldi, D. Cataldi and V. Straser. (2014). Earth's magnetic field anomalies that precede the M6+ global seismic activity. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2014, Geophysical Research Abstract, Vol. 16, EGU2014-1068, Vienna, Austria. Natural



図4* M7.1日本地震に関連する惑星間磁気圏
 (IMF) (* 訳者註:図4 は重複している)
 上のグラフは2021年2月13日に日本のM7.1地震
 (黒い垂直矢印)に先行する18時間以内の惑星間の地磁気(IMF)の乱れを示している.著作権:
 iSWA, USGS,電波発信事業.



図4 磁気圏から電離層への太陽風からのエネル ギー移動の低次元モデル.

図は2021年2月13日に発生した日本でのM 7.1の 地震に先行するAl-Index(上)とDST-Index(下) の変化を示している(地震発生時刻は垂直の黒矢 印).



図5 M7.1日本地震に関連する太陽風の速度.

上のグラフは2021年2月13日に日本のM7.1地震 (黒い垂直矢印)に先行して発生した太陽風の粒子 速度の急激な増加を示している.著作権:iSWA, USGS,電波発信事業. Hazard Section (NH4.3), Electro-magnetic phenomena and connections with seismo-tectonic activity, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.

- [3] D. Cataldi, G. Cataldi and V. Straser. (2014). Variations of the Electromagnetic field that preceded the Peruvian M7.0 earthquake occurred on September 25, 2013. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2014, Geophysical Research Abstract, Vol. 16, EGU2014-1075, Natural Hazard Section (NH4.3), Electro-magnetic phenomena and connections with seismo-tectonic activity, Vienna, Austria. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- [4] T. Rabeh, G. Cataldi, V. Straser. (2014). Possibility of coupling the magnetosphere–ionosphere during the time of earthquakes. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2014, Geophysical Research Abstract, Vol. 16, EGU2014-1067, Vienna, Austria. Natural Hazard Section (NH4.3), Electro-magnetic phenomena and connections with seismo-tectonic activity. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- [5] V. Straser, G. Cataldi. (2014). Solar wind proton density increase and geomagnetic background anomalies before strong M6+ earthquakes. Space Research Institute of Moscow, Russian Academy of Sciences, MSS-14. 2014. Moscow, Russia. pp280-286.
- [6] V. Straser, G. Cataldi, D. Cataldi. (2015). Radioanomalies: tool for earthquakes and tsunami forecasts. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2015, Natural Hazard Section (NH5.1), Sea & Ocean Hazard - Tsunami, Geophysical Research Abstract, Vol. 17, Vienna, Austria. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/ NASA Astrophysics Data System.
- [7] V. Straser, G. Cataldi. (2015). Solar wind ionic variation associated with earthquakes greater than magnitude M6.0. New Concepts in Global Tectonics Journal, V. 3, No. 2, June 2015, Australia. P.140-154.
- [8] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2015). Solar wind proton density variations that preceded the M6+ earthquakes occurring on a global scale between 17 and 20 April 2014. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2015, Vienna, Austria. Natural Hazard Section (NH5.1), Sea & Ocean Hazard -Tsunami, Geophysical Research Abstract, Vol. 17, EGU2015- 4157-2, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/ NASA Astrophysics Data System.
- [9] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2015). Solar wind ion density variations that preceded the M6+ earthquakes occurring on a global scale between 3 and 15 September 2013. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2015, Geophysical Research Abstract, Vol. 17, EGU2015-4581, Vienna, Austria. Natural Hazard Section (NH5.1), Sea & Ocean Hazard -Tsunami, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- [10] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2015). Solar wind proton density variations that preceded the M6,1 earthquake occurred in New Caledonia on November 10, 2014. European Geosciences Union (EGU) General

Assembly 2015, Geophysical Research Abstract, Vol. 17, EGU2015-4167, Vienna, Austria. Natural Hazard Section (NH5.1), Sea & Ocean Hazard - Tsunami, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.

- [11] V. Straser, G. Cataldi, D. Cataldi. (2015). Solar wind ionic and geomagnetic variations preceding the Md8.3 Chile Earthquake. New Concepts in Global Tectonics Journal, V. 3, No. 3, September 2015, Australia. P. 394-399.
- [12] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2016). Solar activity correlated to the M7.0 Japan earthquake occurred on April 15, 2016. New Concepts in Global Tectonics Journal, V. 4, No. 2, pp202-208, June 2016.
- [13] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2016). Tsunami related to solar and geomagnetic activity. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2016, Natural Hazard Section (NH5.6), Complex modeling of earthquake, landslide, and volcano tsunami sources. Geophysical Research Abstract, Vol. 18, EGU2016-9626, Vienna, Austria. Harvard- Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- [14] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2017). SELF-VLF electromagnetic signals and solar wind proton density variations that preceded the M6.2 Central Italy earthquake on August 24, 2016. International Journal of Modern Research in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 1, No. 1, 1-15. DOI: 10.20448/journal. 526/2017.1.1/526.1.1.15.Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- [15] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2017). Solar and Geomagnetic Activity Variations Correlated to Italian M6+ Earthquakes Occurred in 2016. European Geosciences Union (EGU), General Assembly 2017. Geophysical Research Abstracts Vol. 19, EGU2017-3681, 2017. Seismology (SM1.2)/Natural Hazards (NH4.7)/Tectonics & Structural Geology (TS5.5) The 2016 Central Italy Seismic sequence: overview of data analyses and source models. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- [16] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2017). Solar wind proton density increase that preceded Central Italy earthquakes occurred between 26 and 30 October 2016. European Geosciences Union (EGU), General Assembly 2017. Geophysical Research Abstracts Vol. 19, EGU2017- 3774, 2017. Seismology (SM1.2)/Natural Hazards (NH4.7)/Tectonics & Structural Geology (TS5.5) The 2016 Central Italy Seismic sequence: overview of data analyses and source models. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- [17] V. Straser, G. Cataldi, D. Cataldi. (2017). Solar and electromagnetic signal before Mexican Earthquake M8.1, September 2017. New Concepts in Global Tectonics Journal, V. 5, No. 4, December 2017, pp. 600-609.
- [18] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2017). Solar and Geomagnetic Activity Variations Correlated to Italian M6+Earthquakes Occurred in 2016. EGU General Assembly 2017. EGU2017-3681, Vol. 19.
- [19] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2019). Solar wind

ionic density variations related to M6+ global seismic activity between 2012 and 2018. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2019, Short-term Earthquake Forecast (StEF) and multy-parametric time-Dependent Assessment of Seismic Hazard (t-DASH) (NH4.3/AS4.62/EMRP2.40/ESSI1.7/Gi2.13/SM3.9), General Contribution on Earthquakes, Earth Structure, Seismology (SM1.1), Geophysical Research Abstract, Vol. 21, EGU2019-3067, 2019, Vienna, Austria. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.

- [20] G. Cataldi. (2020). Precursori Sismici Monitoraggio Elettromagnetico. Kindle-Amazon, ISNB: 9798664537970. ASIN Code: B08CPDBGX9.
- [21] G. Cataldi, D. Cataldi, V. Straser. (2019). Wolf Number Related To M6+ Global Seismic Activity. New Concepts in Global Tectonics Journal, Volume 7, Number 3, December 2019, pp. 178-186.
- [22] V. Straser, G. Cataldi, D. Cataldi. (2020). The Space Weather Related to the M7+ Seismic Activity Recorded on a Global Scale between 28 January and 25 March

2020. Acta Scientific Agriculture 4.12 (2020): 55-62.

- [23] G. Cataldi, V. Straser, D. Cataldi. (2020). Space Weather related to potentially destructive seismic activity recorded on a global scale. New Concepts in Global Tectonics Journal. Vol.8, No.3, pp. 233-253, December 2020. ISSN 2202-0039.
- [24] G. Cataldi. (2021). Radio Emissions Project A new approach to seismic prediction. Kindle- Amazon, ISNB: 9798709593411.
- [25] P. Velinov. (1975). The effect of solar activity on geophysical processes. Bu/g Geofiz. Spis., vol. 1, pp. 51-77.
- [26] I. F. Simpson. (1968). Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes. Earth and Planet, Sci. Letter, 1968, v.3, No.5, pp. 417-425.
- [27] Y. D. Kalinin. (1974). Solar conditionality of days duration change and seismic activity. Krasnoyarsk, Institute of Physics of Siberian Department of USSR Academy of Science, 1974, p.23.
- [28] I. K. Gribbin. (1974). The next California earthquake. New York. Walker, 1974, p. 136.

2021年2月7日に記録されたM6+の 世界的な地震活動に関係した宇宙気象と地磁気の活動

Space weather and geomagnetic activity related to M6+ global seismic activity recorded on February 7, 2021

Gabriele Cataldi ¹, Daniele Cataldi ^{1,2}, Valentino Straser ³

(1) Radio Emissions Project(1). Itpaobserverproject@gmail.com

- (2) Fondazione Permanente G.Giuliani-Onlus(I). daniele77c@hotmail.it
- (3) Department of Science and Environment UPKL.Brussel(B).valentino,<u>straser@gmail.com</u>

(赤松 陽 訳)

要旨

2021年2月7日に2つのM6+の地震活動が我々の地球上で記録された(M6.0フィリピン地震,04:22:56 世界時 に記録;M6.3パプアニューギニア地震,05:45:52 世界時に記録).著者らは,太陽イオン流と地上の地磁気の活 動の特性を解析し,2つの潜在的な破壊的地震活動に先立つ,太陽風のプロトン密度の増加と地上の地磁気活動 の増加を確かめた.この種の相関関係は,2011年以来,この研究分野において,著者等によって行われた研究の ため,すでに国際的科学界に知られている.

地球史における垂直な岩脈の意義

The significance of vertical dykes in earth history

Cliff OLLIER

School of Earth and Environment, The University of Western Australia, Crawley, W.A. 6009, Australia cliff.ollier@uwa.edu.au

(小泉 潔 訳)

要旨

地球の地殻にある世界中のすべての岩脈は垂直である.これは、岩脈貫入後に地殻が褶曲しなかったことを示 している.しかし、岩脈は原生代にまでさかのぼる.堆積層の積み重なりだけが褶曲しており、その説明には重 カテクトニクスが最適である.褶曲した地層は岩脈の貫入後に再び褶曲したりしない.これらの観察結果は、グ ローバルテクトニクスのモデルを大きく見直す必要があることを示唆している.

キーワード:岩脈, 垂直, 褶曲作用, 重力テクトニクス

はじめに

私は、NCGTに、岩脈に関する最初の論文を発表 し (Ollier, 2011), その1年後にはより広範な内容の論 文を発表した(Ollier, 2012a). これらの論文は、ス コットランドのArranでの 6.8% の引張や1975年から 1985年の間のアイスランドの幅 80km の帯の 5km 近くの引張のような、引張による岩脈の空間充填特性 に関するものである. このストーリーは、Ollier (2020) で詳しく説明しているが、今回は次のような 新しいトピックを紹介した.

垂直岩脈の意義: ほとんどの岩脈や岩脈群はほ ぼ垂直で,貫入されている岩石は岩脈が貫入した 後に褶曲したものではないことを示している.地 殻は,この地域では顕著な圧縮や褶曲はなく, 基本的に安定していた.そしてこれが地球表面の ほとんどである.岩脈は地殻の引張だけでな く,圧縮がないことも意味している.その存在 自体が,圧縮・褶曲・造山といった多くのアイ デアの根拠を壊している.

岩脈群は,世界中でそして地球史を通して発生して いる.これまであまり注目されてこなかった驚くべき 事実は,ほとんどすべての岩脈群は垂直または垂直に 近い岩脈よりなるということである.これは,岩脈群 がある場所では,岩脈貫入後に地殻が褶曲しなかった ことを示している. 本論では、このテーマをさらに詳しく説明する.

証拠

垂直な岩脈の報告は何千件もあり,数冊の論文集 (Hanski et al., 2006; Srivastava et al., 2020など) には地域ごとの詳細が豊富に記載されているが,垂直 である意義についてのコメントはほぼ皆無である.こ こに,その限界の説明に役立つわずかな実例がある.

地球上で最大の岩脈群は,おそらくカナダ楯状地の マッケンジー岩脈群で,それは長さ約 3,000km,幅 約 500km で約 1,270Ma のものである. Ernst and Baragar (1992) は,岩脈は垂直であると報告してい る. "我々の結果は,マグマが垂直に貫入したことを 示している". カナダ楯状地は,始生代以降褶曲して いない.

多くの原生代や古生代の岩脈も同様であることを示 している (例えば Macouin et al., 2003; Polyansky et al., 2017).

中生代になると、さらに多くの例が見つかる。例え ば、Lopez de Luchia and Rapalinib (2002) は、ア ルゼンチンのパタゴニアの進化における中期ジュラ紀 の火山活動の役割について記載している。"Sierra de Mamil Choique の中期ジュラ紀岩脈群に関する地域 的・構造的、そしてある程度の岩石学的証拠は、より 古い構造が火山活動の発達を規制した引張的な大陸内 の造構環境を示している". Amato et al. (2003) は、ベーリング海峡地域にお ける 115-75 Maの火成活動の最も若い局所的な兆候 を示すアラスカ北西部の Seward 半島にある白亜紀後 期の岩脈群を記載している。岩脈と正断層の方向が、 110-90Ma の間の引張が概ね NS から NNW-SSE の 方向であったことを示している。

Velazquez et al. (2011) は,パラグアイの Asuncion リフトに関連した白亜紀の岩脈群を記載し ている. その形態的特徴・局所的な雁行状分布およ び NW-SE 配向パターンは,これらの岩脈が引張的な 造構環境下の断裂に沿って貫入したことを示唆してい る. 岩脈方向のパターンは,大西洋の拡大過程で発生 した局所的な変形の段階と時間的・空間的に一致して いる.

Wingate and Giddings (2000) は,西オーストラリ アの Pilbara クラトンで始生代及び原生代の堆積岩に 貫入した岩脈を調査し,その調査で観察されたすべて の岩脈の傾斜が垂直から 5°以内で,変形していない ように見えることを指摘している.

岩脈の貫入は現在も続いている. Steinthorsson and Thoraninsson (1997) は,アイスランド北部の一 部で1975年から1985年の間の岩脈の貫入を報告して いる.

アラビアの広大な Harrat 溶岩地帯は,過去 3,000 万年の間に紅海のリフティングによって形成さ れたものである。2009年4月から6月に,サウジアラ ビア北西部で 30,000 回以上の群発地震が発生した。 Pallister et al. (2010) は,地質学的・測地学的・地 震学的データを用いて,この地震が長さ約 10km の 岩脈の貫入によるものであることを示した。

唯一の例外は,岩石が非常に深く埋もれていて,変 成や変形を受けた場合であろう.例えば,南極大陸の Dronning Maud Land では,いくつかの岩脈が変形 しており,そこでは岩脈が ~900-1000Ma に貫入し, ~460-530Ma に '褶曲' した (Grantham et al., 2006). この活動は,地殻ではなく,地球の塑性深度で起こっ た.

垂直性の意義

始生代の岩脈は垂直だが、一般的に変成岩や花崗岩 に貫入しているため、初期の褶曲作用とは関係はあり 得ない.顕生代の岩石では、岩脈はしばしば褶曲した 堆積岩に貫入している.つまり、後者では、堆積>褶 曲作用>岩脈の貫入>それ以上の褶曲がないという歴 史がある.わかりやすくいうと、褶曲と岩脈のある場 所では、褶曲が先で、岩脈が後にできた.そして、岩 脈が貫入した後に、それ以上の褶曲はなかった. もし、岩脈が貫入した後に地殻が褶曲したのであれ ば、水平な地層に岩脈が貫入とすると、岩脈の一部は 傾いているはずである (図1). 褶曲した後、褶曲の翼 部が傾いたはずである. 翼部が 45° 傾いていれば、岩 脈も 45° 傾いているはずである. 翼部が 30°の傾斜 であれば、岩脈は 60°の傾斜になる. これは世界中 どこでも観察されるわけではない.

ともかく,岩脈は地殻の一部をフリーズさせたり, 固定したりしているようで,もはや褶曲することがで きない.さらに驚くべきことに,褶曲は以前に岩脈に 貫入されていない岩石にのみ起きている.地殻を褶曲 させることはできないようだが,それでもいくつかの 成層した岩石は褶曲をLancers Sackat Tector San Proc 1, March, 2021



図1 上図;垂直な岩脈. 簡略化のため,水平な地層 に貫入したとしている.下図;本文中で説明されてい るように,褶曲後,岩脈は傾いた.

成層した岩石の褶曲

褶曲は地殻の圧縮によって起きるというのが一般的 な考え方である.これがもしそうであれば,岩脈のあ る地殻にも,岩脈のない地殻にも当てはまるはずであ る.しかし,何千もの例が,地殻に岩脈が貫入して以 来,褶曲していないことを示している.しかし,どう してそうなるのだろうか?

岩脈が普遍的に垂直であることは, 圧縮やプレート テクトニクス (後述) あるいはその他のメカニズム (先 プレートテクトニクス時代の構造地質学の教科書に多 くの記述がある) により, 岩石が褶曲するという根拠 が間違っていることを示している. では, どのような メカニズムで成層した岩石を褶曲させることができる のか?

私が考える最良の可能性は、重力テクトニクスであ る. それは多くの著者によって繰り返し提案されてき た (Van Bemmelen, 1955; De Jong and Scholten, 1973; De Sitter, 1952; Korn and Martin, 1959; Rubey and Hubbert, 1959). ここですべての証拠を 記載することはできないが,2,3の際だった点を述べることはできる.

褶曲した岩石の下には、褶曲していない不整合や滑 り面があることがわかっているので、上位の褶曲した 岩石は独立して褶曲したことになる。典型的な例が ジュラ山脈である、ジュラの褶曲は、テーブルクロス をテーブルに沿って押したときにできるヒダにしばし ば例えられる。テーブルは褶曲しないが、テーブルク ロスは褶曲している。この家庭的な例えは、非常に誤 解を招く恐れがある. なぜなら, 押している手の動き に相当するものは地質学的には存在せず、テーブルの 反対側ではなく、手があるところで褶曲しているから である. テーブルクロスのように岩石のシートを横に 押すことは簡単にはできない. もしテーブルが傾いて いて、布がシワを作りながら滑り落ちるとしたら、こ の例えがより良く,重力の下で働き,シワはテーブル の下端にある。広大な堆積岩シートが、基盤の上を 100km 以上も押されたように見える例は、数多く知 られている、プレートテクトニクスでは、これは薄 皮 (thin-skinned) テクトニクスと呼ばれる.

重力滑動テクトニクスの最も優れた例は, Korn and Martin (1959) が見事に記載したアフリカ南西部 の Naukluft 山脈で提起されたものだろう. 先カンブ リア紀の岩石の基盤岩は褶曲していない, その上には 北西から南東に向かって移動したことが明らかな, 一 連の強く褶曲した岩石が重なっている. 変形の強さ は, インブリケート構造が見られる南東に向かって大 きくなる. これは, 多くのアルプス褶曲地域に見られ るナップ前面の破壊 (breaker-at-the-nappe-front) の 影響である.

しかし,Naukluft にはさらにより驚くべき特徴が ある.断層と褶曲のある岩石が配置された後,それら は平坦に侵食され,その後新たな一連の堆積岩が下位 の褶曲と断層のある一連の岩石の上に,不整合に堆積 した.上位の地層はもともとほぼ水平だったはずだ が,この上位の地層は後に別の褶曲やスラスト作用を 受けた.不整合の部分を滑り落ち,下位の岩石に影響 を与えることなく強く変形した.

2つの褶曲した岩石間の不整合は、わずか 5~ 10m の厚さの独特な黄色のドロマイトを特徴とする が、このドロマイトが潤滑層となって、上位の岩塊 の剥離 (デコルマン:訳者注)を可能にしたことは明 らかである.それでも、ドロマイトの下部は事実上 破壊されておらず、上部は隣接する上位の岩石に向 かって次第に変形していっている.厚さ数kmの岩盤 が、厚さわずか10mのドロマイト層の滑り面上を滑動 した.しかも下位の岩石を全く乱さずに.ここでは、 地殻の短縮や潜り込みの問題はあり得ない.すべて は、巨大なスケールの重力滑動を示している.

恐らく大規模重力滑動の最良の例が,第三紀の海 成・河川成堆積物からなるニジェールデルタに見られ る.構造的に褶曲帯とスラスト帯をもち,時には数 kmに及ぶ未変形の地層により互いに隔てられてい る.ニジェールデルタの変形は,大陸棚の堆積物の重 力崩壊によって引き起こされた(Bilotti and Shaw, 2005).このような重力により引き起こされたシステ ムのこのスタイルは,メキシコ湾を含む受動的縁辺デ ルタ (Rowan et al., 2004)でよく見られる (Peel et al., 1995など).

ニジェールデルタは、多くの'褶曲山脈'地帯と同様 な規模であり、アルプス褶曲帯の多くの特徴をもって いるが、決して山脈ではなかった-実際に海面レベル 以上に出なかった。多くのかつての環境設定では、前 面のスラストは潜り込みの結果としてプレートテクト ニクス的な用語で解釈されてきたが、ニジェールデル タは受動的縁辺にあり、潜り込みは不可能である。そ の主な特徴を図2に示す.

重力テクトニクスの一般的な側面を強調する価値は ある. 重力滑動による岩石の褶曲は、衝突するプレー トの圧縮や地球の収縮というアイデアとは関係がな い. このような褶曲は、一般に'造山運動'と呼ばれて いるが、Ollier and Pain (2000) が詳しく説明してい るように、山脈の形成とは関係はない。 テーブルクロ スを折り畳んだり、粘土を圧搾器 (squeeze-box) で 潰したりすることでわかるように, 横方向に押して岩 石を褶曲させることはできない。岩石の圧縮強度は、 厚さ数km, 幅数 100km の地層の厚い板を押すのに 必要な力よりも非常に小さい。このような厚い板を動 かせるような力を何らかの方法で加えたとしても、厚 い板は動かず、力を加えた場所で押しつぶされるだけ である、重力は、岩石中の一粒一粒、一個一個の分子 に作用する体積力* であり、加えられた力ではできな いような方法で物体全体に影響を与える.

* [訳者註] 体積力;物体に働く力で,その大きさが物 体の体積に比例するもの.おもに流体力学や材料力学



図2 背後に正断層を,前面にスラストをともない,重力に起因する造山帯の多くの特徴を完全に示しているニジェールデルタ(Evamy et al., 1979による).

で重要な粘性力や弾性力などの表面力に対して用いられる.たとえば一様な密度の物体に働く重力や浮力などがある (ブリタニカ国際大百科事典).

プレートテクニクスと岩脈

プレートテクトニクスでは、山脈はプレートが衝突 する活動的な縁辺での圧縮によって生じると言われて いる. インターネットからいくつかの簡単な例を引用 する.

"褶曲山脈は、2つ以上の地球のテクトニックプレートが押し合わされて作られる。多くの場合、収束プレート境界や大陸衝突帯として知られた地域である。"

"褶曲山脈は,2つのプレートがともに移動すること で形成される(圧縮性プレート縁)."

"褶曲山脈は、2つのテクトニックプレートがプレー ト収束境界でお互いに移動して形成される.プレート とその上に乗っている大陸が衝突すると、蓄積された 岩石の層がテーブル上で横に押されたテーブルクロス のようにシワくちゃになり褶曲する可能性がある." (ウィキペディア)

衝突している場所の山脈を説明している多くの教科 書中に同様の記述が見られる。

しかし、多くの山脈は衝突する場所にない. それで はそれらはどのように形成されたのか? 一つの解答 が Owen (2004) により提案されている. すなわち、"こ のような '古代' の山系は、一般的に現在のリソスフェ アプレートの境界とはほとんど、あるいは全く関係が なく、何億年も前に形成され始めた可能性がある." 言い換えると、それらは若い活動的な縁辺山脈のよう に形成されているが、さらに古い時代に形成されたも のである. 遺憾ながら、山脈の形成の本当の年代を決 めると、これが真実であると考えられる (Ollier and Pain, 2000; 2020).

このようにして山脈が形成されたのであれば,先述 したように,現存する岩脈は傾いていなければならな いが,これは見当たらない.衝突するプレートは,古 い岩脈の存在にかかわらず,地殻を圧縮しているはず である.太平洋プレートが南米の下に潜り込んでいる のであれば,海岸沿いのコルディレラの岩石が褶曲し ていると予想されるが,それは見られない.

例えば、アメリカ大陸の太平洋側の縁に沿って多数 の岩脈があり、それらはすべて垂直である. さらに、 これらの圧縮された、とされている地域に、この他に も多くの引張を示すものが見られる (Ollier, 2012b).

結論

垂直な岩脈は、地球の歴史上、地殻の褶曲は生じて いないことを示している。堆積岩の褶曲は見られる が、重力テクトニクスで説明するのが最善である。

そうだとすると、プレートテクトニクスや地質サイ クルなど、これまでの多くの考え方を大きく見直す必 要がある.

文献

- Amato, J.M., Miller, E.L., Wright, J.E. and McIntosh, W.C., 2003. Dike swarms on Seward Peninsula, Alaska, and their implications for the kinematics of Cretaceous extension in the Bering Strait region. Canadian Journal of Earth Sciences 40(6), 865-886 https://doi.org/10.1139/e03-019.
- Bilotti, F. and Shaw, J.H., 2005. Deep-water Niger Delta fold and thrust belt modeled as a critical-taper wedge: The influence of elevated basal fluid pressure on structural styles. AAPG Bulletin, 89, 1475–1491.
- De Jong, K.A. and Scholten, R. (Editors) 1973. Gravity and Tectonics. Wiley-Interscience, New York, 502pp.
- De Sitter, L.U. 1952. Pliocene uplift of Tertiary mountain chains. American Journal of Science 250, 297-307.
- Ernst, R.E. and Baragar, W.R.A., 1992. Evidence from magnetic fabric for the flow pattern of magma in the Mackenzie giant radiating dyke swarm. Nature 356, 511-513.
- Evamy, B.D., Haremboure, J., Kamerling, P., Knaap, W.A., Molloy, F.A. and Rowlands, P.H., 1978. Hydrocarbon habitat of Tertiary Niger delta. AAPG Bulletin 62, 1-39.
- Grantham, G. H., Armstrong, R. and Moyes, A. B. 2006. The geology of a mafic dyke at Roerkulten, Sverdrupfjella, western Dronning Maud Land, Antarctica. In Hanski, E., Mertanen, S., Ramo, T. and Vuollo, J. (Editors). Dyke Swarms - Time Markers of Crustal Evolution. Selected Papers of the Fifth International Dyke Conference in Finland, Rovaniemi, Finland, 31 July- 3 Aug 2005 and Fourth International Dyke Conference, Kwazulu-Natal, South Africa 26-29 June 2001. Routledge, 213- 224.
- For instance all along the Pacific margin of the Americas there are numerous accounts of dykes, and they are all vertical. Furthermore, there are many other indications of extension in these allegedly compressed areas
- Hanski, E., Mertanen, S., Rämö, T. and Vuollo, J. (Editors) 2006. Dyke Swarms - Time Markers of Crustal Evolution. Proceedings of the Fifth International Dyke Conference, Rovaniemi, Finland, 31 July-3 Aug 2005, and the Fourth International Dyke Conference, Kwazulu-Natal, South Africa 26-29 June 2001 Taylor and Francis, 272pp.
- Korn, H. and Martin, H. 1959. Gravity tectonics in the Naukluft Mountains of South-West Africa. Bulletin of the Geological Society of America 70, 1047-1078.
- Lopez de Luchi, M. and Rapalini, A.E. 2002. Middle Jurassic dyke swarms in the North Patagonian Massif: the Lonco Trapial Formation in the Sierra de Mamil Choique, Río Negro province, Argentina. Journal of South American Earth Sciences 15, 625-641. DOI: 10.1016/S0895-9811(02)00083-4.

Macouin, M., Valet, J.P., Besse, J., Buchan, K., Ernst, R.,

LeGoff, M. and Scharer, U., 2003. Low paleointensities recorded in 1 to 2.4 Ga Proterozoic dykes, Superior province, Canada. Earth and Planetary Science Letters 213, 79-95.

- Ollier, C.D. 2011, Dykes, Global Tectonics and Extension. New Concepts in Global Tectonics 59, 49-54.
- Ollier, C.D. 2012a. Dykes, crustal extension and global tectonics. In Scalera, G., Boschi, E. and Cwojdzinski, S. (Editors). The Earth Expansion Evidence a Challenge for Geology, Geophysics and Astronomy. Selected contributions to the interdisciplinary workshop of the 37th International School of Geophysics EMFCSC, Erice (4-9 October 2011), 207-304.
- Ollier, C.D. 2012b. Extension everywhere: rifts, continental margins and island arcs. In Scalera, G., Boschi, E. and Cwojdzinski, S. (Editors). The Earth Expansion Evidence a Challenge for Geology, Geophysics and Astronomy. Selected contributions to the interdisciplinary workshop of the 37th International School of Geophysics EMFCSC, Erice (4-9 October 2011), 61-76.
- Ollier, C.D. and Pain, C.F. 2000. The Origin of Mountains. Routledge, London, 345 pp. Ollier, C.D. and Pain, C.F. 2019. Neotectonic mountain

uplift and geomorphology. Russian Journal of

- Geomorphology (Геоморфология) 4, 3-26. https://doi.org/ 10.31857/S0435-4281201943-26. Ollier, C.D. 2020. My memories and ideas about the expanding Earth. In Hurrell, S. (Editor). The
- Hidden History of the Expanding Earth, 105–130. Owen, L.A. 2004. Cenozoic evolution of global mountain systems. In Owens, P.N. and Slaymaker,
- O. (Editors). Mountain Geomorphology. Edward, Arnold, London, 39-64.
- Pallister, J.S., McCausland, W.A., Jónsson, S., Lu, Z., Zahran, H.M., El Hadidy, S., Aburukbah, A., Stewart, I.C., Lundgren, P.R., White, R.A. and Moufti, M.R., 2010. Broad accommodation of rift-related extension recorded by dyke intrusion in Saudi Arabia. Nature Geoscience 3, 705-712.
- Peel, F.J., Travis, C.J., and Hossack, J.R. 1995. Genetic structural provinces and salt tectonics of the Cenozoic offshore U.S. Gulf of Mexico: A preliminary analysis. In Jackson, M.P.A., Roberts, D.G. and Snelson, S. (Editors). Salt tectonics: A global perspective. AAPG Memoir 65, 153–175.
- Polyansky, O.P., Prokopiev, A.V., Koroleva, O.V., Tomshin, M.D., Reverdatto, V.V., Selyatitsky, A.Y., Travin, A.V. and Vasiliev, D.A., 2017. Temporal correlation between dyke swarms and crustal extension in the middle Palaeozoic Vilyui rift basin, Siberian platform. Lithos 282, 45-64.
- Rowan, M.G., Peel, F.J. and Vendeville, B.J. 2004. Gravitydriven fold belts on passive margins. In McClay, K.R. (Editor), Thrust tectonics and hydrocarbon systems. AAPG Memoir 82, 157–182.

Page 37

- Rubey, W.W. and King Hubbert, M. 1959. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting: II. Overthrust belt in geosynclinal area of western Wyoming in light of fluid-pressure hypothesis. Geological Society of America Bulletin 70, 167-206.
- Srivastava, R.K., Ernst, R.E. and Peng, P. (Editors) 2020. Dyke Swarms of the World: A Modern Perspective. Springer, 492pp.
- Steinthórsson, S. and Thorarinsson, S. 1997. Iceland. In: Moores, E.M. and Fairbridge, R.W. (Editors).

Encyclopedia of European and Asian Regional Geology. Chapman, 341–352.

- Valásques, V.F., Riccomini, C., Gomes, C. and Kirk, J. 2011. The Cretaceous alkaline dyke swarm in the central segment of the Asunción Rift, Eastern Paraguay: Its regional distribution, mechanism of emplacement, and tectonic significance.Journal of Geological Research 2011, 946701, doi:10.1155/2011/946701.
- Van Bemmelen, R.W. 1955. Tectogenese par gravité. Bulletin de la Societe beige de Geologie, de Paleontologie et d'Hydrologie 64, 95-123.
- Wingate, M.T. and Giddings, J.W., 2000. Age and palaeomagnetism of the Mundine Well dyke swarm, Western Australia: implications for an Australia– Laurentia connection at 755 Ma. Precambrian Research 100, 335-357.

日本列島の地震分布の特徴 –プレートテクトニクスで地震は起こっていない–

Characteristics of Earthquake Distribution in the Japanese Archipelago –Plate tectonics has not caused earthquakes–

柴 正博

ふじのくに地球環境史ミュージアム Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka, Japan shiba@dino.or.jp

要約.本稿では、日本列島の震源分布をもとに地震の発生について再検討した. 震源をその深度ごとに解析する と、いくつかの深度の範囲により異なった分布の特徴が認められた. 深度 300km より深い地震の分布は、深発 地震面の下部にあたり、上部の分布とはまったく異なった分布をしめす. 深度 50~300km の地震は、海溝付近 から島弧側に傾斜する深発地震面上部を形成する震源の分布をしめすが、南海トラフには認められない. 深度 20~50km の地震は、島弧の脊梁部の下にほとんどなく、この領域にあたる地殻下部が溶融している可能性があ る. 深度 0~20km の地震では、島弧の脊梁部とその周辺の大陸斜面に分布し、島弧の地殻上部に多くの地震が 発生している. 深発地震面上部は海溝より陸側から島弧側に傾斜していて、海溝軸から沈み込んではいない. 地 震のほとんどは堆積盆地とその周辺山地との境界で起こっていて、プレートの沈み込みが原因ではなく、地殻下 部の溶融体による島弧の隆起が原因である.

Keywords: earthquakes, hypocenters, deep seismic surface, uplift of island arcs, plate subduction.

はじめに

今年は、日本列島の東北部に壊滅的被害を与えた巨 大地震、東北地方太平洋沖地震(東日本巨大地震)が 起きてから10年経つ.この地震は、2011年3月11日 14時46分に太平洋岸三陸沖の深さ約 24km を震源と して発生した地震である.その地震の規模は、M9.0 で、大正関東地震(1923年)の M7.9 や昭和三陸地 震(1933年)の M8.4 をうわまわる日本観測史上最 大であるとともに、世界でも1900年以降4番目に大き な巨大地震とされている.この地震は海溝型地震の代 表的なものであるとされる.

この地震とそれにより発生した巨大津波による犠牲 者は,死者・行方不明者あわせて2万人以上におよん だ.また,地震と津波により福島第一原子力発電所で 重大な事故が発生し,放出された放射能被害により, 東北地方はもとより日本全国に現在でも甚大な被害を もたらしつづけている.

図1は、日本列島とその周辺で、1997年10月1日~ 2011年8月28日までに起こったマグニチュード(M) M0.1~M9 までの地震の震源分布である. 震源デー タは気象庁一元化震源データを使用し、山形大学の川 辺孝幸教授から提供をうけた Scat3D ソフトで分布図 を作成した. 震源の深さは円のトーンで, 規模は円の 半径でしめしてあるが, ここでは震源の位置に注目す るため, それらの凡例を省略する.

これらのデータは日本列島周辺では海溝と島弧に そって多くの地震が発生していることを示し,まさに 日本列島は地震の巣のようにみえる.地震学者たち は,日本列島周辺の地震はプレートの沈み込みで起 こっていると解説している.しかし,それは事実であ ろうか.実際に地震はどこで起こっているのか.本稿 では,実際の地震の震源分布から地震の発生について 再検討してみる.

その結果,これらの地震の震源をその深度ごとに解 析すると,いくつかの深度の範囲により異なった分布 の特徴が認められる.そして,それは地震がプレート テクトニクスによって発生しているものでないことを 明確に示している.

震源深度のちがいによる地震分布の特徴

深度 300 km~最深(681 km)

この深度範囲で発生している地震(図2)は、3つの 集合から構成される.その一つは、小笠原諸島の南か ら伊勢湾、若狭湾を通り日本海の大和堆付近で終わる



図1 左図は日本列島とその周辺で1997年10月1日~2011年8 月28日までに起こったマグニチュードの範囲がM 0.1~M 9.0 の震源分布.日本列島は地震の巣のようにみえる.右図はイン デックスマップ.



図2 日本列島とその周辺の深度300~681kmの震源分布.この 深度範囲の震源分布はいわゆる深発地震面の下部にあたり、上 部の分布とは不連続で、まったく異なった分布をしめす.

北北西-南南東方向で西に傾斜した深発地 震が直線的に分布する.二番目は,千島海 盆の北部から北海道の稚内付近までのびる 東北東-西南西方向で北に傾斜した直線的 な分布がある.残りは,これら二つの間の 日本海盆に分布する.この深度の地震分布 全体は,傾いた「L」の字型に直交するよ うにみえる.この深度範囲の震源分布は, いわゆる深発地震面の下部にあたり,上部 の分布とは不連続で,まったく異なった分 布をしめす.

深度 50~300 kmの地震

この深度の地震(図3)は、いわゆる海 溝付近から島弧側に傾斜する深発地震面上 部を形成する震源の分布をしめす.この深 発地震面は、日本海溝はじめ、千島海溝、 伊豆-小笠原海溝、琉球海溝に沿って分布が 見られる.しかし、伊勢湾から豊後水道の 間の太平洋側(南海トラフ)ではこの深発 地震面に相当するものがみられない.この ことは、南海トラフには深発地震面に相当 するプレート境界がないということになる のではないだろうか.ただし、この南海ト ラフ地域には紀伊半島と熊野灘南東側、室 戸岬南方に震源の小規模な分布がみられ る.

深度 20~50 kmの地震

この深度の地震(図4)は、島弧の太平 洋側の大陸斜面に分布するものと、東北地 方の日本海側大陸斜面と稚内付近に分布す るものがある.島弧の脊梁部にはこの深さ の地震がほとんどなく、西南日本の日本海 側にも多くは分布しない.この深度範囲は 島弧の下では大陸地殻下部に相当する.こ の地震のない範囲に、火山帯の下などに分 布する超低周波地震が多く発生している. この深度範囲の下部のものについては、深 発地震面の最上部の地震も含まれていると 思われる.また、小笠原諸島より南側では 地震がほとんどなく、千島弧では深さ 25~40 kmに集中する.

地震は脆性破壊によって起こる現象であ るから、地震がないということはその領域 が弾性体もしくは溶融状の物質から構成さ れている可能性がある.また、この深度の 地震分布が火山帯や超低周波地震の分布と もほぼ一致する.このことから、島弧の脊



図3 日本列島とその周辺の深度50~300kmの震源分布. これ はいわゆる海溝付近から島弧側に傾斜する深発地震面上部を形 成するが,南海トラフでは認められない.



図4 日本列島とその周辺の深度20~50kmの震央分布.水色の 点は超低周波地震.島弧の脊梁部にはこの深さの地震がほとん どなく,超低周波地震をともなう.

梁部の深度 20~50 kmの範囲には溶融して いるマグマの存在が推定される.

深度0~20 kmの地震

この深度の地震(図5)は、島弧の脊梁部 とその周辺の大陸斜面に分布する.深さ 10km 以浅のものはとくに陸域といくつか の地域に集中して分布し、10~20km のも のは大陸斜面に分布する.また、海岸線に そっていくつかの地域で地震の空白域が認 められる.小笠原諸島より南側ではこの深 度の地震がほとんどなく、北海道と千島弧 との間に空白域があり、千島弧では深さ 15km 付近に大きな地震が分布する. 10km 以浅の地震が島弧の陸域に分布する ことは、島弧の大陸地殻上部に地震が起 こっていることになる.

海溝型地震

海溝型地震は、一般に、海溝での海洋プ レートの沈みこみにともない海溝陸側斜面 の地下で発生する地震として説明されてい る.これは、沈みこむ海洋プレートに押さ れて陸側のプレートにひずみが蓄積して陸 側がはね上がり、地震断層を発生させて地 震が起こるとされている.そのため、プ レートの沈みこみ帯に沿って、どこでも地 震が起こることになる.

日本において,南海トラフに沿う遠州灘 (浜松の海岸沖)から駿河湾(静岡の海岸 沖)にかけての地域は,フィリピン海プ レートの沈み込みにより大きな地震の可能 性が50年前から危惧されている(図6).な ぜなら,この地域は,これまで大きな地震 が起きていない,すなわち,空白域だった ことから東海地震または南海トラフ地震の 発生が想定されてきた.

南海トラフ地震の場合, プレート境界は 駿河湾の北で陸上に追跡されるが, 陸上で は大規模な地震は起きていない. プレート の沈みこみ帯でどこでも M7~M8 (ときに M9 におよぶ) 地震が起こるのであれば, なぜそれは海域だけに発生するのであろう か. プレート境界は陸上にも延長されてい るが, 地震学者はなぜ南海トラフの陸側延 長域で震源域を想定していないのか. ま た, プレートの沈みこみ帯で地震が起こる とするならば, 地震は沈みこみ帯の水平方 向のどこでも起こるはずなのに, なぜ震源分



図5 日本列島とその周辺の深度0~20kmの震央分布.それら は島弧の脊梁部とその周辺の大陸斜面に分布する.



図6 Fig. 6 フィリピン海プレートの沈み込みにとも なって発生すると推定されている南海トラフ地震の 震央域. AからEの四角はそれぞれ東海地震および南 海地震, Fが関東地震の推定震源域を示す. 矢印と 数字は本州に対するフィリピン海プレートの進行方 向と速度 (小山, 2008).

布が震源領域として集中するのであろうか.

日本列島に大きな被害を与えた東日本巨大地震は, 海溝型地震の代表とされ,いわゆるプレート境界でお こる地震といわれている.ここでは,この実態につい て詳しくみてみる.図7に東北地方の三陸沖を切る地 震震源の東西断面をしめす. ここでは深発 地震面は上下二列(二重深発面)をなし, 上面の上方端は海溝ではなく,深海平坦面 の西縁付近に延長される.東日本巨大地震 の本震は深発地震面上面の上方延長よりも 海溝側に分布する(図7の▼の深度 24km).

上部深発地震面の上方端は海溝ではなく より陸側にあることは、東北日本弧だけで なく、伊豆-小笠原弧や琉球弧でもみられる 事実である.深発地震面上面が海溝から沈 みこんでいないのに、海洋プレートは海溝 から沈みこんでいるのであろうか.海洋プ レートの沈みこみ帯と深発地震面が一致し ないのに、海溝型地震の発生機構はどのよ うに説明されるのであろうか.

海溝型の浅発地震の震源分布の特徴と海 底地形との関係について、1960年代末に地 震学者と海洋地質学者によって、地震は深 海平坦面 (前弧海盆) の分布と深く関連し ていることがのべられた。

田 (1968) は, 1926~1965年までの深 さ 60km 以浅で起こった M6 以上の地震の分 布と深海平坦面の分布をしめし, 深海平坦面 の縁辺と海溝との距離別頻度分布をもとに, 深海平坦

面の縁辺に震央が集中することを指摘した。田 (1968)の図では、1940年代の南海地震と東南海地



図7 東北地方の三陸沖を切る地震震源の東西断面. 東日本巨大地震の本震の震源は▼の地下24 kmにあ り,海洋プレートが沈みこんでいるとされる日本海 溝▽はさらにその東側100 kmのにある.深発地震面 上面の上方延長は海溝ではなく,それより陸側にあ る.深発地震面がプレートの沈みこみ帯だとする と,プレートは海溝で沈みこんでいるのではなく, その100 km以上陸側から沈みこんでいることにな る. 震がそれぞれ紀伊水道と熊野灘の深海平坦面の縁辺で 発生していて,深海平坦面のない遠州灘では大きな地 震は起きていないことを示している。

星野(1969)は、深海平坦面の発達と極浅発地震 (10km 以浅)の震央分布との関係から、ただ一段の 深海平坦面が発達しているところに極浅発地震が多発 し、土佐湾のように二段の深海平坦面が分布するとこ ろや遠州灘のように水深の異なる何段かのせまい深海 平坦面が分布するところでは極浅発地震がまったく発 生していないことをのべている.そして、新第三系の 堆積盆地が孤立して盆地状に発達し、しかも 1,000m 以上の厚い地層をもっているところに極浅発地震が発 生するとのべている.

気象庁のWebページで公表された東日本巨大地震と その余震の震央分布を,東北地方太平洋沖の詳細な深 海平坦面の分布(岩淵,1967)に重ねると,東日本巨 大地震の本震は宮城沖のひとつの深海平坦面の東側縁 辺で起こっていて,余震とされた地震も含めてほとん どの地震が,海溝軸の東側のものをのぞいて深海平坦 面の周縁部に集中する(図8).

東海地震や大規模地震が想定されている南海トラフ には、前述したように深発地震面が存在しない(図 3).海溝型地震は海洋プレートが沈みこむときに起 こるとされているので、南海トラフでは海溝型地震が 発生しないということになる.しかし、すべての地震 学者は南海トラフの巨大地震が近い将来に起こるだろ うと叫び続けている.



図8 岩淵 (1967) の深海平坦面の分布図に東日本 巨大地震の震央分布 (気象庁のWebページ) を重ね たもの. 震央のほとんどが深海平坦面の中ではなく それらの周縁部に分布する.

地震と堆積盆地の見地から南海トラフの地震を検討 すると、遠州灘には新第三紀以降の時代の地層は分布 するものの盆地状に厚く分布せず、また海底地形も一 段の深海平坦面から構成されていない(図9).この ことから、遠州灘はもともと地震が起こる場所ではな い可能性がある.すなわち、そのことが、遠州灘で起 こるとされた東海地震が50年間起きなかった理由の 一つではないかと私には思える.

堆積盆地と地震

図10は淡路島から大阪平野の地図に,兵庫県南部 地震の震央分布を重ねたものである.大阪湾から大阪 平野は,藤田(1990)のいう六甲変動によって急激



図9 遠州灘から熊野灘にかけての海底地形. 深海平 坦面の発達する熊野灘に対して,遠州灘には深海平 坦面がみられない.

に隆起した周囲の六甲山地や和泉山地などからとり残 された,厚い堆積物を蓄積した堆積盆地となってい る.兵庫県南部地震は,その盆地の北西縁の明石海峡 の地下 16km で発生し,淡路島北部から六甲山地の 南東境界地域の北東-南西方向の帯状の地域が強く振 動して,おもに神戸市街に大きな被害をあたえた.

兵庫県南部地震(M7.3)のような内陸直下型地震 は、都市の発達する平野または盆地と隆起する山地と の境界付近で発生する.その規模は海溝型地震におよ ばないが、震源が都市直下のために大きな被害が発生 する.このような地震は、日本全国の平野や盆地でし ばしば起こっていて、静岡平野でいえば、1935年に 有度丘陵の南西部と静岡平野との境界で起こった静岡 地震(M6.4)、清水平野では1965年に北部山地との境 界で起こった静岡地震(M6.1)である.2009年に起 こった駿河湾地震(M6.5)は海域であるが、石花海 海盆の北縁部で発生した(図11).



図10 淡路島から大阪平野の地域(インデックスマッ プの赤い箱)に兵庫県南部地震の主震と余震の震央 分布を大阪湾周辺の地図に重ねたもの.赤丸は主 震,赤四角は余震の震央の位置.震央のほとんど は,六甲山地と大阪平野-大阪湾の境界にそって分布 する.

このような地震は、平野や盆地の規模が小さければ その地震の規模も小さく、大きければ地震の規模も大 きい.このような地震は、周期的に同じ盆地の同じと ころに起こるという考えかたもあるが、島村 (2011)によれば地震に周期性はないとしている. ちなみに、兵庫県南部地震と同じような地震は、 1596年に六甲-淡路島断層帯で発生したとされる慶長 伏見地震といわれ、両地震の発生間隔は約400年にな るが、ふたつの地震は同じ場所では起こっていない.

海溝型巨大地震が深海平坦面,すなわち前弧海盆の 縁辺部で起こるものであれば,内陸直下型といわれる 盆地縁辺部で起こる地震とその発生機構は同じであ



図11 2008年8月11日駿河湾地震の震央分布(イン デックスマップの赤い箱). 震央は静岡から石花海 北堆にかけて石花海海盆の北東縁に直線的に限られ て分布する.

る. それらを区別するものは盆地の規模の大きさであり、プレートの沈み込みとは関係がない.

地形はその場所の地質や地殻変動を反映している. 海域では陸上のように侵食が顕著でないため,深海平 坦面のような堆積地形が明確であり,地震や断層など 地殻変動を反映する地形が認識しやすい.地震の規模 は,前弧海盆や内陸盆地の規模が大きいほど,大きい と思われる.したがって,今後の地震発生機構の解明 には,地形や地質の研究をもっととり入れるべきであ ると考える.

南海トラフで起こる地震

図12に南海トラフぞいの深度0~50 kmの震央分布 を、また図13に南海トラフを横切る四つの南北断面 における深度0~50 kmの震源分布をしめした.図13 を見ると前述したように深発地震面は存在せず、深度 20~40km にみられる震源の分布もその上方端は海岸 線付近に延長され、南海トラフ軸とは一致しない.

図12では、静岡から紀伊半島にかけて深度 30km 以浅に地震の空白域が赤石山脈と紀伊山地にあり、そ の山地の南部に深度 30~50km の地震が集中する. またその海域では、深度 30km 以浅の地震の空白域 は遠州灘から熊野灘にかけてあるが、深度 30~ 50km の地震が集中しているのは熊野灘南部(熊野海 盆の外縁地下)にあり、遠州灘には存在しない. すな わち、この地域において深度 30~50km の地震の集 中は赤石山脈や紀伊山地、熊野海盆外縁部など、隆起 地塊南部縁辺部を縁どるように分布しているようにみ える(図12). このことから、この地域の地震は隆起 地塊を外側(南側)から押し上げるように発生してい ると思われる.

熊野灘南部に集中する地震の震源は20~50 kmにあ り、プレートの沈みこみ帯にあたる0~10 kmの深さ に地震がほとんどない(図14). すなわち、プレート の沈みこみ帯と地震の発生には関連性がない。

山地は隆起し,それに対して盆地は相対的に沈降し ているところである.たとえば,大阪湾から大阪平野 の地域と隆起する六甲山地との境界では,六甲変動に よる隆起と相対的沈降(海水準上昇)という運動が継 続してきた.同じように,赤石山脈や紀伊山地,さら に深海平坦面(前弧海盆)を形成した南海トラフの陸 側の外縁隆起帯およびその陸側の大陸斜面上部も,第 四紀以降も活発に隆起しつづけてきたところである. このような盆地に対する山地や大陸斜面の隆起運動の メカニズムが,地震の発生と密接に関係していると思 われる.



図12 南海トラフぞいの深度0~50 kmの震央分布. A: 深度範囲が0~30 km, B: 深度範囲が0~50 km.

島弧-海溝系の特徴は、島弧の隆起と火山活動,海 溝および地震の発生である。島弧は、中新世後期以 降、とくに約43万年前以降の隆起によって形成されて いると考えられ、火山活動と地震活動もそれにとも なった活動と考えられる.したがって、プレートの沈 みこみのみを地震の原因と考えるのではなく、島弧を 形成した隆起運動やマグマ活動と地震との関係から、 地震の研究を進める必要があると考える.

地震発生のメカニズム

結論として、一般に流布している地震は沈みこむ海 洋プレートに押されて陸側のプレートにひずみが蓄積 して陸側がはね上がって起こる、という単純なメカニ ズムで発生しているのではないと考えられる。

細井(1996)は、地殻内の個体部分の「破壊」は きわめて微速度で徐々に進行する場合なら考えられて も、地震のような瞬間的エネルギーの解放に際しては 周囲に空間のない地殻内でどういう破壊の「実態」が あるのか疑問であるとした、そして、地震のような瞬 壁の弱い一部を突破口として高圧水が爆発的水流と なって流れこむショックが、地震の原因の一つである 可能性が高いと考える.とくに、温泉地域で発生する 群発地震では、地下熱または水蒸気圧の上昇と地下水 流動の変化などが群発地震の発生と密接に関連してい ると思われる.また、堆積盆地を一つの異常高圧ブ ロックと想定することで、これまでのべてきた堆積盆 地の大きさと地震の規模の関係についても理解するこ とができる.したがって、地震のメカニズムを考える 上で、地域ごとの隆起帯と盆地との相互の関係や、隆 起を引き起こしている地殻内部とその下のマントル上



図13 南海トラフを横切る四つの南北断面における深度 0~50kmの震源分布. Coastは海岸線の位置で, Trough は南海トラフのもっとも深い軸の位置を示す. どの断面 でもトラフ軸からの深発地震面は認められない. AとD断 面では海岸付近から陸側で地震が集中するところがあ る. それに加えてB断面ではトラフ陸側 (熊野海盆の外 縁地下)に地震が数多く発生する集中部がある.

間的破壊が発生するためには,爆発的に流動できる流体(水)そのものが主役であるという考えを述べている.

地震発生メカニズムについて,私は細井(1996) が提案した異常高圧ブロックから隣接層へ向って断層

図14 熊野海盆の地下での地震分布. ほとんどの 地震は海洋地殻 (フィリピンプレート) の上面 で起きているわけではなく,実際にはもっと下 の 20~50km の深さに震源があり,プレートの 上面とは関係なく地震が起きている.

部内での応力と熱の上昇やそれらの変化などが、地震 の原因を解明していく上に重要であると考えられる.

ただし,私は現在,次にどこでどのような地震が起 こるかを予想することはできない.また,これまで起 こった地震についてさえ,具体的にそれらがどのよう なメカニズムで起こっているかを明確に説明できない.しかし,地震の多くが隆起帯と盆地との境界で起こることから,地殻の隆起を起こしている何かが原因であろう.おそらく地震発生の原因は,地殻下部での 低速度層の変化や,マグマ活動およびそれによる地殻 または地層内の熱や熱水などの水蒸気圧の変化と密接 に関連していると思われる.

謝辞:本稿をまとめるにあたり,星野通平博士と川辺 孝幸博士に感謝いたします.星野博士は東海大学名誉 教授であり,地震と海底地形の関係について先駆的な 研究を行ってこられ,筆者の地震学への関心と研究を 導いてくださった.川辺博士は山形大学教授で, Scat3Dのソフトを提供してくださり,地震や地質構 造に関するアドバイスをしてくださった.

文献

- 田 望(1968)海底地形と浅発地震の震央分布.北海 道大学地球物理学研究報告,20,111-124.
- 星野通平(1969) 震央の分布と海底地形・地質との関 連について、東海大学海洋学部紀要, 3, 1-10.
- 細井 弘(1996) 地震の発生機構における流体の役割―地震を発生させ直接の原因は地下の間隙水である―. 柴崎達雄・植村 武・吉村尚久編「大地震 そのときに地質家は何をしたか」,東海大出版会,189-206.
- 藤田和夫(1990)満池谷不整合と六甲変動-近畿にお ける中期更新世の断層ブロック運動と海水準上

昇. 第四紀研究, 29, 337-349.

- 岩淵義郎(1968)日本列島東方沖の海溝地形について. 地質学雑誌, 74, 37-46.
- 小山真人(2008)東海地震はどんな地震か?. 里村幹 夫(編)「地震防災」,学術図書出版,東京, 160p.
- Saffer, D., McNeill, L., Byrne, T., Araki, E., Toczko, S., Eguchi, N., Takahashi, K. and the Expedition 319 Scientists (2010) Expedition 319 summary. Proc. Integrated Ocean Drilling Program, 319, 1-46.
- 柴 正博. (2017a) 駿河湾の形成 大規模隆起と海水 準上昇–, 東海大学出版部, 平塚, 406p.
- Shiba, M. (2017b) Geology of the island arcs in the northwestern margin of the Pacific Ocean and their formation by a large scale uplift and sea level rise the formation of Suruga Bay. New Concepts in Global Tectonics Journal, 5, 532-548.
- 柴 正博. (2021) 本州中央部における鮮新世以降の 隆起運動の特徴と海水準上昇. 地球科学, 75, 37-55.
- 柴 正博・増田祐輝・柴 博志・駿河湾地震被害調査 グループ(2010)2009年8月11日駿河湾地震の被害 分布の特徴と地形・地質との関連.「海・人・自 然」東海大学博物館研究報告,10,1-16.
- 島村英紀(2011)巨大地震はなぜ起こる-これだけは 知っておこう. 花伝社,東京, 303p.
- 気象庁震源データ https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/ data/bulletin/hypo.html
- 気象庁Webページ https://www.jishin.go.jp/main/chousa/ 11nov_sanriku/f09-1.html

カラコルム ススト・オーラコゲンの炭化水素ポテンシャル:概要 Hydrocarbon Potential of Sost Aulacogen, Karakoram: an overview

Haleem Zaman Magsi Baloch Nazir Zaman Magsi Baloch

Marksistskaya St. 22 Moscow, Russia Federation 109147 * Corresponding author e-mail: zamanhaleemmagsi@gmail.com, haleem.m@seismotectonics.com

(岩本 広志 訳)

要旨:

燃料・エネルギー複合体は、ある国と別の国の社会経済部門の大動脈である. 伝統的に石油を輸入してきたパ キスタンは、現在、工業団地や都市開発のための燃料・エネルギー複合体の需要を満たすために、天然液体ガス (コンデンセート)を輸入している. そのため、パキスタンは固有の炭化水素鉱床を探し、持続可能なエネルギー 資源を利用している. 本研究は、カラコルムの北方堆積地形のテクトニックな要素であるスストオーラコゲンの 炭化水素ポテンシャルを評価する試みる. 本研究では、パキスタンのアルピデス、北西ヒマラヤ、カラコルムの 中生代シーケンスの堆積作用の古テクトニック条件が類似していることを示している.したがって,著者らはス ストオーラコゲンに膨大な炭化水素燃料が埋蔵されている確率を推測している.それゆえに,商業的な活動のた めには,オーラコゲンの詳細な石油システムの研究とモデル化が必要である.

キーワード:炭化水素,中生代シーケンス,スストオーラコゲン,古テクトニック条件,根源岩とと貯留岩

はじめに:

石器時代以来,社会経済部門の発展の枠組みは, 経済に関係したシステムとして考慮されたエネルギー 資源開発の発明として要求されたものと理解できる. 進化・革命的で動的な社会経済部門の発展の枠組み は燃料・エネルギー複合体 (FEC)の目標を定める. それゆえに燃料・エネルギー複合体 (FEC)は,一つ の国,あるいは他の国にとって重要である.一方, FECの実行可能性は炭化水素資源とエネルギー資源 の自国内の膨大な利用可能性に依存する.

パキスタンは、膨大な量の再生可能な天然エネル ギー資源に恵まれていて、優れた日射量、非常に優れ た風力エネルギーの可能性、膨大な水力発電資源、 相当量の天然ガス埋蔵量、潮汐エネルギー資源を有 する 1,054km の長い海岸線、大量の家畜数、バイオ エネルギーを作り出す農業廃棄物などであり、付け 加えて、パキスタンには世界最大級の石炭資源があ り、シンド州には 1,850億トンもの褐炭が埋蔵されて いる.

パキスタンでは再生可能エネルギーポテンシャルが あるにもかかわらず、現在では人口の70%しかグリッ ド電力を利用できていない。天然ガスネットワークへ の利用については、人口の約25%が天然ガスネット ワークを利用している。このことは、人口の約3分の 2が、調理、暖房、給湯などの基本的なエネルギー需 要を満たすために、木質燃料、糞、その他のバイオマ スなどの非効率的で不健康な資源に頼らなければなら ないことを示している。確かに、人口が増えれば需要 はさらに増え続けるだろう。Arkhipovら(2014)に よると、パキスタンでは2040年に燃料・エネルギー 複合体のガス需要がピークに達するという。

さらに、この地域の社会経済部門の機動力である 新興の世界的メガプロジェクト、中国-パキスタン経 済回廊(CPEC)は、パキスタンの燃料・エネルギー 複合体の目標にも関連する修正を加えるだろう。上述 したFEC目標の将来シナリオは、伝統的な石油輸入国 であり、現在は液体天然ガスを輸入しているパキスタ ンの重い輸入請求を最終的に高めることになる (Brohi 2018).

炭化水素燃料とエネルギーを安価で確実に供給す るための重要な選択は,自国の炭化水素燃料鉱床の 探査とエネルギー資源の有効利用に依存している.したがって、パキスタンは、将来の目標に沿って持続可能なFECを実現するために、自国の炭化水素燃料鉱床を探し、再生可能エネルギー源の利用を強化することを計画している.

古生代,中生代,新生代の時代の砕屑岩や炭酸塩岩 がパキスタンの陸上および海上の堆積盆地の炭化水素 根源岩や貯留岩であるため,石油・ガス会社はパキス タンのこれらの時代の堆積層をターゲットにしている (Bender and Raza 1995, Craig ほか, 2018, Carmichael ほか, 2009, Oakley 2016, Qadri 1995, Voskresenskiy ほか, 1971 and Wandrey ほか, 2004).

Craigら (2018) とOakley (2016) はパキスタンと インドの北西ヒマラヤの古生代と中生代に示される 堆積層の根源岩と貯留岩の石油システム,炭化水素ポ テンシャルを研究した. Wadia (1931) は、北西ヒマ ラヤ山脈を北西ヒマラヤ・シンタックシス(収束)に 分類している。一方, Burtman (2013) と Khain (1979) はトランスインダス山脈 (Trans Indus Range) と ソルト・レンジ (Salt Range) を北西ヒ マラヤ収束と結びつけ、パミール-パンジャ (Pamir-Punjab) 収束と呼んでいる. 一方, Balasundaramと Rayは、カラコルム中生代地向斜をチベットの南にあ る中生代ヒマラヤ地向斜と結びつけている。カラコル ム・メガンティックリノリウム (Khain 1979) は, パミール-プンジャブ・シンタクシス (Burtman 2013, Khain 2000)の内部テクトニック要素であ り、古生代および中生代の砕屑岩および炭酸塩岩 (Desio 1974, Gaetani 1997, Schneider 1957, 1960, Zanchi and Gaetani 1994, 201?) からなる にもかかわらず、北西ヒマラヤ・シンタクシスの石油 システム、および炭化水素ポテンシャルの研究からは 除外されている (Craig ほか 2018, Oakley 2016).

しかしながら, Magsi (2018, 2019) は, カラコル ムの北部堆積地形の非生物的および生物的な炭化水 素ポテンシャルを概観している.

本研究の目的は, (Donnelly 2004 and Zanchi and Gaetani 1994, 2011) のスストオーラコゲン, 中生代のシーケンス,北カラコルムテレーン (図1) と,中生代シーケンスの堆積作用の古テクトニック 条件と北西ヒマラヤの貯留岩の相関関係に基づいて, 石油システムと炭化水素ポテンシャルを検討すること である.



図1. スストオーラコゲンの構造層序ユニット (Zanchi and Gaetani 1994を改変). KAB-カラコ ルム中軸(花コウ岩)底盤.

ススト オラーコゲンのテクトニック・層序的背景:

Schneider (1957,1960) は Karakoram meganticlinorium (Khain 1979, Belyayevskiy 1966) を北 (北部堆積帯) から南 (ギルギット帯) まで 5つのゾーンに区分した. Gattinger (1961) は Karakoram meganticlinorium を 7 つのゾーンに分 けた. 一方, Desio (1974) はカラコルムセグメント を6つのゾーンに分け:北部堆積帯(北部堆積テレー ンとも呼ばれる) (Zanchi and Gaetani 2011), 中 軸花崗岩 (バソリスティック:底盤)帯、中央変成帯 または南部堆積帯 (Zanchi and Gaetani 2011), チャラットグリーンシスト帯、玄武岩貫入帯およびギ ルギット帯である. しかし, Gaetani (1997), Gansser (1964), Zanchi and Gaetani (2011) 12, 北の北部堆積帯から南の南部変成帯までの3つのゾー ンを提案しチャラットグリーンシスト帯をカラコルム -コヒスタン・縫合帯, 玄武岩貫入帯, ギルギット帯 をコヒスタン弧の一部と定義した.

プレートテクトニクスの提唱者 (Gaetani 1997, Gansser 1964, Tahirkheli ほか, 1990, Zanchi and Gaetani 2011) によれば, カラコルム–コヒスタン縫 合帯はコヒスタン弧とカラコルムセグメントの衝突境 界として機能している. 一方, Balasundaram and Ray (1973) は, カラコルム-コヒスタン縫合帯を, Tibit の南にある中生代の地向斜とつながっている優 地向斜と考えている. Belousovら (1979), Belyayevskiy (1966), Bolt and Choi (2005), Gattinger (1961), Schneider (1957, 1960), Smoot (2007, 2018) も, Kohistan 弧と Karakoram 弧の衝 突を否定している. ガルワールヒマラヤの褶曲とブ ロックのモデルは、伝統的なプレートテクトニックの 概念を支持しない (Rogozhin ほか, 2002).

カラコルムの北部堆積テレーンは、キリク断層と呼 ばれる北部断層 (Zanchi and Gaetani 2011) と軸 方向の底盤(バソリステック)ゾーンの間に広がって いる(図1),一方、レスン-上部フンザ断層は北部の 堆積地形を北部ユニットと南部ユニットに分けてお り (Zanchi and Gaetani 2011), スストユニットと ギュハルユニットはそれぞれ北部ユニットと南部ユ ニットの内部造構造堆積要素である (図1). Zanchi and Gaetani (2011) は、レスン-上部フンザ断層の形 態的再活動化を明らかにした。この断層のセグメント は, 逆断層, 正断層, 走向断層として形態が変化す る. また, Belousov (1976) は, 形態変化する構造 の断層を伏臥衝上スラッシュと分類している. Belyayevskiy (1966) と Khain (1991) は, 伏臥衝上 スラッシュをジオブロックのダイナミクスを制御する 深部断層と呼んでいる.

深部断層は天山山脈やコーカサス山脈に存在し、ネ オテクトニックの隆起と沈降の境界として機能してい る(Belousov 1980, Belyayevskiy 1966). したがっ て、レスン-上部フンザ断層は深部の断層であり、北 方堆積盆の運動像に影響を与えている. 上部フンザ断 層と北部断層(図1)は、それぞれギュハルブロック と ミスガルブロックをスストブロックの上に積み重 ねる主要なスラスト面である(Donnelly 2004, Zanchi and Gaetani 2011). 著者らは、上部フンザ 断層と北部断層がスストオーラコゲンのテクトニック エレメントを形成していると推定している(図2).

スストグラーベン構造は、褶曲した厚いパイルとス ラストシートが厚く積み重なって反時計回りのスタッ クを形成しており、東西方向の走向移動断層が構造を 乱している (Donnelly 2004, Zanchi and Gaetani 2011).



図2. スストオーラコゲン,北部カラコルム帯.

カラコルムの北部堆積地形は,古生代と中生代の砕 層物と炭酸塩の岩石で構成され (Gaetani 1997. Gaetani 1997, Zanchi and Gaetani 1994, 2011), 露頭岩の比率は、火山性 0.5%、深成岩 4-5%、堆積 物 67%, 変成岩 28% である (Desio 1974). ススト 地溝が厚いペルム紀および中生代の砕屑物と炭酸塩の 堆積物からなるのに対し、グリチャ層(ペルム紀)は ススト背斜のコアとして露頭している (Zanchi and Gaetani 1994). 石炭層は, ススト地溝のチャプルサ ンブロックのアシュティガル層とヤシュクック層に存 在する (Donnelly 2004). グハルホルストは、断層で 制御された背斜と共軸構造を特徴としています(図 3). グリーチャ層の黒色粘板岩と砂岩(ペルム紀)の 上には、グハル層の巨大な炭酸塩(ペルム紀-未定義 の中生代の一部)と、グリーチャ層とグハル層に挟ま れてよく堆積したブアタール石灰岩、マール、うろこ 状砂岩 (ペルム紀) が重なっている (Zanchi and Gaetani 2011). 一方, ミスガル地累では, 暗色の粘 板岩, アルコース砂岩, 石英岩, バイオクラスティッ ク石灰岩、強い変形を受けたShaskar花崗岩が露頭し ている.



図3. グハルユニットとスストユニットの地質断面図

討論とまとめ:

地殻の持続的かつ長期的な沈降は、盆地と呼ばれる.盆地の力学は、堆積傾向と堆積岩の組成や構造を形成し、そのプロセスは、炭化水素の形成、蓄積、保存に適した環境を作っている (Galimov 1989).

Bender and Raza (1995), Carmichael ほか (2009), Craig ほか (2018) Oakley (2016), Qadri (1995), Voskresenskiy ほか (1971), Wandrey ほか (2004) は, パキスタンのアルピデス, 北西ヒマラ ヤ, インダス沖盆地の石油システムと炭化水素ポテン シャルを調査し, アルピデス, 北西ヒマラヤをインダ ス盆地, バローチスタン盆地, コハット-ポトワール 盆地, ペシャワール盆地, レッサーヒマラヤ盆地, ト ランスインダス山脈, ソルトレンジ, カシミール盆
地, インダス沖盆地, マクラン沖盆地を有望な炭化水
素生産盆地として区分した. Bender and Raza
(1995), Carmichael ほか (2009), Craig ほか (2018),
Oakley (2016), Qadri (1995), Voskresenskiy ほか
(1971), Wandrey ほか (2004) によると, これらの地
域では炭化水素の生産が期待されている.

中生代の砕屑岩および炭酸塩岩は、パキスタンの小 ヒマラヤ、亜ヒマラヤ、インダス川横断、山脈、塩山 脈およびヒマラヤ山脈の炭化水素源および貯留層の 岩石である.小ヒマラヤ、サブヒマラヤ、トランスイ ンダス山脈、塩山脈では、それぞれ Mianwali 層頁岩 (初期三畳紀)、Chichali 層頁岩(ジュラ紀〜白亜紀 初期)が供給源岩、Kingriali 層ドロマイト(上部三 畳系)、Datta 層砂岩、Samansuk 層石灰岩が貯留源 岩となっている(Craig ほか 2018、Oakley 2016、 Wandrey ほか 2004).

Sost aulacogen (Donnelly, Zanchi and Gaetani 2011) の砕屑物および炭酸塩岩 (三畳紀〜白亜紀) の 露頭と, NW ヒマラヤ,小ヒマラヤ,亜ヒマラヤ盆地 の源流および貯留岩の中生代シーケンスとの相関関 係は,中生代シーケンスの堆積の古テクトニックな 環境が類似していることを示している (図4). Khain and Limonov (2004), Gaetani (2015), Gaetani (1997), Desio (1979), Voskresenskiy ほか., (1971), Zanchi and Gaetani (2011) は,アルピデス,アルパ イン-カラコルム (Desio 1979) のテクトニックな発 展の歴史の新しい段階は,古生代と中生代の境界で 始まったと考えている.

Khain and Limonov (2004), Gaetani (2015), Gaetani (1997), Desio (1979), Voskresenskiy ほか,



図4. 劣ヒマラヤと北部堆積帯の中生代堆積層位の対比(Craigほか.,2018, Donnelly 2004, Zanchi and Gaetani 2011から)

(1971), Zanchi and Gaetani (2011) は、ペルム紀か ら三畳紀にかけての複合体を Cimmerian Folding system に分類している.二畳紀から三畳紀への堆積 物の移行は、アルピデスのKirthar Sulaiman (Voskresenskiy ほか、1971) や北部堆積帯のススト オーラコゲン (Gaetani 1997, Zanchi and Gaetani 2011) で記録されている.三畳紀前期の頁岩の堆積と 三畳紀後期の石灰岩の堆積は、すべての盆地で起こっ た (Donnelly 2004, Voskresenskiy ほか 1971, Zanchi and Gaetani 2011).

三畳紀の古テクトニック環境は、パキスタンのアル ピド、カラコルム、高ヒマラヤが互いにつながってい たことを示している(図5). Balasundaram and Ray (1973) も、Tibit の南側にある中生代の地向斜と カラコルムの中生代地向斜との関連を明らかにしてい る.一方、Khain (1979) と Voskresensky ほか、 (1971) は、パキスタンのアルプス山脈を覆うカラコ ルムとヒマラヤ山脈の弱いヘンリシアン造山運動に基 づく新しいテクトニックな発展段階の開始時に、頁 岩と炭酸塩岩(下部三畳紀)の堆積が起こったことを 指摘している.現在の石油システムと炭化水素ポテン シャルの研究は、パキスタンのアルピデス、ヒマラ ヤ、カラコルムにおける中生代のシーケンスの古テク トニックな条件の評価に基づいている.上記のすべて



図5. パキスタン-インド楯状地の三畳紀古構造図 (Khain 1979を改変)

の盆地における中生代シーケンスの堆積条件はほぼ 類似していることが確認された.スストオーラコゲ ン,北部堆積域,カラコルムおよびパキスタンのアル パイン-ヒマラヤ帯の他のテクトニック要素の中生代 シーケンスは同じであるため,著者はスストオーラコ ゲンが炭化水素に富む構造である可能性を仮定してい る.インダス盆地のサッカルオーラコーゲン構造はパ キスタンの主要なガス生産構造の一つである (Voskresenskiyほか 1971, Wandrey ほか 2004).

著者の意見では,Wirokhun 層の黒色頁岩(下部 三畳系)と石炭層に挟まれたジュラ系の Ashtigar 層 の頁岩と泥灰土,石炭層に挟まれた Yashkuk 層の砂 岩とシルト岩(Donnelly 2004, Zanchi and Gaetani 2011)が有望な炭化水素源岩となりうる. Aghil 層(三畳系),Guhjal 層(ペルム系-中生界),ジュ ラー白亜系石灰岩の石灰岩とドロマイトはスストオー ラコゲンの炭化水素の貯留層となりうる.また,ジュ ラー白亜系の石灰岩はスストオーラコゲンが貯留層と なる可能性がある.しかしながら,石油システムのさ らなる研究とモデル化により,炭化水素ポテンシャル を明らかにすることができる.

謝辞:著者らは論文に対し匿名の査読者と編集者の Louis Hissink 博士に感謝する.

文献:

- Arkhipov N.A., Galkin Yu. V., Galkina A. A., Gimadi V. I., and others 2014. The Forecast For The Development Of Energy Of The World And Russia till 2040. Moscow pp. 170 (In Russian).
- Balasundaram M. and Ray D. (1973). Tectonic Framework and Evolution of India. Geol. Soc. Malaysia, Bulletin 6, pp. 17-25.
- Bender F. and Raza H. 1995. Hydrocarbons. Geology of Pakistan [ed.] and Raza H., Bender F. Berlin -Stuttgart: Gebruder Borntraeger, pp. 182-202.
- Belousov, V., 1976. Geotectonics. M. Nedra, p. 264 (in Russian).
- Belousov, V.V., Belyavsky, N.A. and Borisov, A.A., 1979. The structure of the lithosphere the profile of deep seismic sounding of the Tien Shan, Pamir-Karakoram Himalaya. Sovetskaya Geology, no. S, p. 11-28. (In Russian).
- Belyayevskiy N.A. (1966) Principal geological features of Karakoram, International Geology Review, 8:2, 127-143, DOI: 10.1080/00206816609474268
- Blot, C. and Choi, D., 2005. Forerunners of the catastrophic Kashmir Earthquakes (8 October 2005) and their Geological significances. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 37, p. 4-16.
- Brohi S. 2018. Oil & Gas Exploration & Production in Pakistan, Issues in Legal Framework on Community Development & Environment. PDI pp. 82 www.pdi.org.pk.
- Burtman V. S. (2013) Geodynamics of Pamir-Punjab Syntaxis. Geotectonika No 1, pp. 36–58 (In Russian)

- Craig J, Hakhoo, N., Bhat G.M. Hafiz M., Khan M.R., Misra R., Pandita S. K, Raina B. K., Thurow J., Thusu B., Ahmed W., Khullar S. 2018. Petroleum systems and hydrocarbon potential of the North-West Himalaya of India and Pakistan. Earth-Science Reviews 187 pp. 109– 185 www.elsevier.com/locate/earscirev
- Carmichael S. M., S. Akhter S., J. K. Bennett J. K., M. A. Fatimi M. A., K. Hosein K., R. W. Jones R. W., M. B. Longacre M. B., M. J. Osborne M. J and R. S. J. Tozer R. S. J. 2009. Geology and hydrocarbon potential of the offshore Indus Basin, Pakistan. Petroleum Geoscience, Vol. 15, pp. 107–116, DOI 10.1144/1354-079309-826.
- Donnelly L.J. 2004. Geological investigations at a high altitude, remote coal mine on the Northwest Pakistan and Afghanistan frontier, Karakoram Himalaya. International Journal of Coal Geology 60 pp. 117–150
- Desio, A., 1979. Geological Evolution of the Karakoram. In: Farah, A., and DeJong, K.A. (eds.), Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p. 111-124.
- Desio, A. 1964 Geological Tentative Map of the Western Karakorum 1:500,000. Milan (Instituto di Geologia).
- Desio A., 1974 Karakorum mountains Geological Society, London, Special Publications, 4, 255-266, DIO 10.1144/ GSL.SP.2005.004.01.14
- Gaetani M 1997 The Karakorum Block in Central Asia, from Ordovician to Cretaceous. Sedimentary Geology, Vol. 109, pp. 339-359.
- Gaetani M. 2015. Blank on the Geological Map. Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali. DOI: 10.1007/s 12210-015-0494-2
- Galimov E. 1989 Sources and mechanisms of formation of hydrocarbon gases in sedimentary rocks. Geochemistry, Vol. 2, pp. 163-180. (in Russian).
- Gansser A., 1964. The Geology of Himalayas. John Wiley & Sons Ltd. pp. 289
- Gattinger T., 1961. Geologischer Querschnitt des Karakorum vom Indus zum Shaksgam. Geologische Ergebnisse der Österreichischen Himalaya-Karakorum-Expedition 1956. JB. Geol. B. A. Sonderband 6 S 3– 118.
- Khain, V.E., 2000. Tectonics of continents and oceans. Moscow. Pp. 585. (in Russian). Khain, V.E., 1979. Regional Geotectonics of Asia and Australia M. Nedra. (in Russian).
- Khain, V.E., (1991) Abyssal Faults, Geoblocks, Terranes and Plate Tectonics, International Geology Review, 33:12, 1155-1163, DOI: 10.1080/00206819109465743
- Khain V., Limonov L. 2004. Regional Tectonics. 2004. (In Russian)
- Kravchenko, K., 1979. Tectonic Evolution of the Tien Shan, Pamir, and Karakorum. In: Farah, A., and DeJong, K.A., (eds.), Geodynamics. Geol. Sur. Pak. Quetta. pp. 25-40.
- Le Fort P., Tongiorgi M. & Gaetani M. 1994. Discovery of a crystalline basement and an Early Ordovician marine transgression in the Karakorum mountain range, Pakistan. Geology, Vol. 22, pp. 941-944.
- Magsi H.Z. 2018. The question of the oil and gas potential of western and central Karakorum, Pakistan. Proceedings of the International Geological and Geophysical Conference GeoEurasia 2018. Modern technologies of studying and development of Eurasian resources » pp.104-107
- Magsi H.Z. 2019 The Potential of Biotic and Abiotic Hydrocarbons in Karakoram, Pakistan. New Concepts in Global Tectonics Journal, V 7 N 1, pp 63-73 March 2019 www.ievpc.org.

- Oakley, J., 2016. Pakistan's Kohat Plateau: The Rise of a Formerly Frontier Province. Petroleum Exploration Society of Great Britain (PESGB), pp. 44–47.
- Qadri I. 1995 Petroleum Geology of Pakistan. Karachi: Pakistan Petroleum Limited. p. 300.
- Rogozhin E.A., Sokolova E. Yu., Somala S.N., Andreeva N.V., and Raghucharan M.C. 2020. Deep Structure and Folded-Block Structure of the Garhwal Himalayas (India): Results of Integrated Geological and Geophysical Study. Geotectonics, Vol. 54, No. 1, pp. 75–82.
- Schneider H., 1957, Tektonik und Magmatismus im NW-Karakorum. Geol. Rdsch., 46,426-476.
- Schneider H.,1960, Geosynklinale Entwicklung und Magmatismus an der Wende Palaozoikum- Mesozoikum im NWHimalaya und -Karakorum. Geol. Rdsch., 50, 334-352.
- Smoot N., 2018. Observations on the Southern and African plates. New Concepts in Global Tectonics Journal, v.6, no. 2, pp. 149-170 ww.ncgtjournal.com.
- Smoot N., 2007. Wherefore the Tethys Sea(s)? New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 45, pp. 21-30.
- Tahirkheli R., Dongli S., Yusheng P., Wangming D., Yuquan Z., Baqri S., and Dawood H., 1990. Review of Stratigraphy of the Upper Hunza Valley (UHV), NW Karakoram Pakistan. Geol. Bull. Uni. Peshawar, Vol. 23, pp. 203-214.
- Voskresensky, I., Kravchenko, K., Movshovich, E. and Sokolov, B., 1971. Outline of Geology of Pakistan. M. Nedra, p. 166. (in Russian).
- Wadia, D.N., 1931. The syntaxis of the northwest Himalaya: its rocks, tectonics, and orogeny. Records of the Geological Survey of India, pp. 189–220.
- Wandrey, C.J., Law, B.E., Shah, H.A., (2004). Patala -Nammal composite total petroleum system, Kohat-Potwar geological province, Pakistan. In: Wandrey, C.J. (Ed.), Petroleum Systems and Related Geologic Studies in Region 8, South Asia. United States Geological Survey Bulletin, pp. 1–18.
- Zanchi A. & Gaetani M. 1994. Introduction to the Geological map of the Northern Karakoram Terrain, from Chapurson valley to Shimshal Pass. Riv. It. Paleont. Strat., 100(1), 125-136.
- Zanchi, A. and Gaetani, M., 2011. The Geology of the Karakoram range, Pakistan: the new 1:100,000 geological map of Central –Western Karakoram. Ital. J. Geo.sci. (Boll. Soc. Geol. It.), v. 130, no. 2, p. 161-262, 91. DOI: 10.3301/ IJG .2011.09.

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 (DTP).

<補 遺>ガブリロフ氏(ロシア)より寄稿

ISSN 0001-4338, Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2020, Vol. 56, No. 12, pp. 1569–1580. © Pleiades Publishing, Ltd., 2020. Russian Text © The Author(s), 2020, published in Issledovanie Zemli iz Kosmosa, 2020, No. 4, pp. 27–40.

---USING SPACE-BASED INFORMATION ABOUT THE EARTH GEOLOGICAL STUDIES FROM SPACE---

宇宙からの地質研究による日本海盆と隣接する乾燥大陸・島弧の構造要素 Structural Elements of the Sea of Japan's Basin and Adjacent Continental and Island Dry Land, According to Data from Space-Based Geological Investigations

A. A. Gavrilov*

Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Russian Academy of Sciences, Far East Branch, Vladivostok, 690041 Russia *e-mail: gavrilov@poi.dvo.ru Received December 25, 2019; revised February 5, 2020; accepted March 13, 2020

(久保田喜裕・足立久男 訳)

要旨-大陸-海洋漸移帯の日本海側セグメントにおける典型的な断層・ブロック転位システムは、宇宙からの地質 データと地形・地質・地球物理学的資料から認識され、名祖 (eponymous)の後期古生代メガアーチが提唱され た.ベイサイト (basite)のリング状形態、期間、規模、酸性火成作用、マントルダイアピル作用の地質学的・地 球物理学的な兆候の存在は、その構造と発展の主な特徴をプルーム活動に関連付けている。地質学的な前史、プ ルーム・テクトニクス、およびジオダイナミクスレジームの周期的な逆転が、中生代初期、新生代中後期におけ る大陸縁の破壊的な造構方向とその特徴を決定し、地域進化の一般的かつ明瞭な特徴を決定した。継承しつつ発 展してきた構造配置 (structural plan)の特徴として、日本海盆の幾何学的中心にある大陸型地殻をもつ海底の大 和堆に関連したメガアーチの花崗岩核が保存されていること;放射状ー同心状のハイプソメトリーと構造-マグマ 性の累帯構造が存在すること;他の多くの海底の高まりの残存物があることなどが挙げられる。本州弧東部や隣 接する深海溝の島弧側斜面に代償的な衝突--付加変位が存在しないこと、衛星画像に現れている断層性の乾陸-海 洋の造構的指標である小規模で多様な走向、古島弧の構造要素が保存されていることなどは、ユーラシア-太平 洋漸移帯の日本海側セグメント内で、リソスフェアブロックが大きく水平移動するという考えに反する。

キーワード:日本海,大陸-海洋漸移帯,リニアメント,テクトニックモデル,メガアーチ,プリューム,リフトの起源 (riftogenesis),マントルダイアピル

DOI: 10.1134/S0001433820120403

はじめに

衛星画像(SI: Satellite Imagery)データを解釈す ることは、海岸線の地形学的・地質学的研究において 重要かつ必要な要素である.これにより、入手可能 な情報の量と質を大幅に向上させることができ、乾燥 地や隣接する海洋底の構造要素を効率的に明らかに することができる.地域の地質構造に応じて、またテ ストサイトとして使用される一部の地域では、異なる タイプの変位が研究対象となる.地殻変動やマグマ活 動が活発な極東地域では、変位、ブロック要素、発 生源システムのネットワークを特定することがとくに 重要である.このような研究の主要な側面は,乾陸– 海,乾陸–海–乾陸のタイプの地域的および地域横断 的な断層を,水平方向のブロック運動の役割と広が りを決定し,漸移帯と縁海盆形成のメカニズムを特定 するための構造的な指標として使用することである (Garvrilov, 2009).それに劣らず重要なのは,沿岸 地形システムの構造と発展における断層の役割を決定 することや,分断された変位の影響,ジオダイナミク スの要因,火成作用が大陸縁の破壊に与える影響の推 定に関する問題である (Garvrilov, 2017).本研究の 目的は,大陸–海洋漸移帯の日本海側セグメントの例 を通して、衛星画像の地質-地形学的解釈の結果を、 与えられた対象の研究に利用・解析することである。

解析的アプローチ

宇宙を基本とした技術の利点はよく知られている. それは,異なるスケールとタイプの画像を統合して データを客観的に一般化することができること,興味 ある領域を超えて拡がる異常を記録し追跡できる観測 性があること,などが含まれている;電磁放射領域の 異なる物体を描写することにより,構造配置 (structural plan)の奥深くに隠された要素を識別で きること;地形学的,地質学的,景観的特徴を統合 した地質体や変位を示す効果,などである (Kosmicheskaya informatsiya..., 1983; Lebedev, 2013 et al.).

我々は, 縮尺 1:500,000 および 1:1,000,000 のモ ノクロ衛星画像と, インターネット上の Google Earth 画像を使用したリモートセンシングデータを準 備した. 画像の色調, パターン, 構造に関連した一連 の典型的な特徴があり, 画像濃淡の幅が狭くあるい は広く拡がった(連続または離散) 縞状異常;色 調, 画像濃淡の密度, 景観のタイプが異なる領域内の 2つ以上のセグメントの直線的な境界; 直線的な地形 (渓谷, 断崖) は, 衛星画像における断層構造の主 要 な 特 徴 と 考 え ら れ た (Kosmicheskaya

informatsiya..., 1983; Katz et al., 1986). 曳裂断層

帯 (disjunctive dislocation, 訳者 註: 曵裂 (えいれつ) -両方へ引っ張 る力のために地殻が引き裂かれ、断 層ができること)の地形学的・地質 学的指標のなかでも,変位セグメン トや急勾配の高まりのある地帯に沿 うとともに、拡がりのある(連続的 または分断的)地形や構造配置の線 状要素に注目した。たとえば、マグ マタイト (magmatites) や他の地質 体の明瞭な境界線,等転位線の不連 続, 地理的領域; まとまった被害; 貫入山塊のブロック形態;溶岩層な どのデータを利用した.一連の貫 入・迸入岩や火山体(volcanic edifices)の位置、さらに地質・景観 環境におけるリニアメントの階層的 特徵 (features of the linear order of elements) を考慮した. 衛星画像 の解釈結果に加えて, 地形形態学 的・地形計測学的構造, 地形デジタ ルモデル (図1), 地質・物理学的

データを用いて、リニアメントネットワークの地域解 析を行った、重力場と磁場の線状異常は、地球表面 の高まりの地形形態学的・地形計測学的解析と同様 の手法を用いて明らかにされた。その結果は、リニア メントと曵裂断層帯の方向性を示すローズダイアグラ ムの形で一般化された。また、1:500,000 および 1:1,000,000 画像上で,規則的な格子状走向を示す濃 淡の線状異常が測定された結果に基づいて、日本海盆 を縁取る大陸と島弧の乾陸において、リニアメント ネットワークの対相関解析 (a pair correlation) を 行った。宇宙を基本とした地質学的な発生源システム の検出には、画像に示された景観、形態学的・構造 的・本質的・地球物理学的な一連の特徴を使用する か、または衛星からリモートで識別する必要がある (Kosmicheskaya informatsiya..., 1983). 一連の特徴 や指標は、抽出された対象の規模、階層、年代、お よびその地域の探索の程度によって異なる。衛星画像 におけるさまざまな異常(色調,濃淡濃度,画像構 造)の環状形態(すなわち,弧,リング,同心円,放 射状リニアメントの存在,特定の組織的構造の内的要 因,核,周囲 (satellite),核-周囲タイプの基本構 造) だけは同じままである (Gavrilov, 2017). このよ うな累帯構造と普遍的な基本構造の存在により、発 生源となる構造と等大のブロック形成が区別され、 断層形成のメカニズムへ加えられることが示される.

高精度の地形情報と地形や宇宙からの地質情報を 利用して発生源システムを効率的に明らかにすること



図1. Primorye 南部のある地域のデジタル地形モデルの解析により識別 されたリニアメントネットワーク. これらは選言的(離接的)変位帯 (disjunctive dislocation)に関連する線状の形態学的異常と仮定される.

により,地表の大規模な凹凸とその地域の深部構造要 素や重力・磁場の異常との間に良好な相関関係があ ることが確認されている(Kosmicheskaya informatsiya..., 1983; Kulakov, 1986; Gavrilov, 2017; etc.).地下地質作用の最も重要な指標は,深 部過程の強度,期間,方向性を反映した一般的なさ まざまなレベル(本体,山塊,複合体)におけるマグ マ形成と考えられる.大規模な対象物は,構造形成解 析データ(例えば,堆積岩層や火山・堆積複合岩体の 年代,厚さ,転位に関する資料)のほか,地殻の厚 さと構造に関する情報や地域に応じた静的,動的, および遡及的モデル(retrospective models)の後評 価などの新知見を用いて認識される.

大深度の海底の画像で直線状やリング状の異常を検 出するのはかなり困難で、そこの地形は衛星測高法の さまざまなシステムで得られたデータ(デジタルジオ イド高度モデル、鉛直方向の偏差、フリーエア重力異 常)と音響測深の結果を統合して反映させる.重力値 を決定する精度は、20kmの画像解像度で5mGalに もなる.数百メートル以上の高低差に開析されている 地形の場合、フリーエア重力異常は地形を大きく反映 し、リソスフェアセグメント上層部における密度の不 均一性による重力効果が二次的に影響すると想定され ている (Lebedev, 2013; Smith and Sandwell, 1994; Wessel, 2001).

日本海地域のリニアメント系

断層帯(火山帯、深成岩帯)における発生源システ ムの空間的構成と同様に,特定された西太平洋のリ フト起源地帯における大陸縁海盆地域には並進対称 性 (translational symmetry) が存在する (Milanovskii and Nikishin, 1988) ことから、これら の海盆の発展と環太平洋周辺地域のプルームに関連し た深部エネルギー・マグマ発生源 (magmagenerating centers) との間に関連性があることが示 される. エネルギー保存則と構造運動過程に必要な エネルギー最小法則により、西太平洋海域のさまざ まなセグメントにおけるメカニズムの類似性、プルー ムテクトニクス現象の収束、リフト作用とマントルダ イアピリズムが確実視されている。このことは、新生 代中期・後期における東アジアの縁海域の盆地の進 化の一般的な傾向を決定するものである。それらの 地形学的,地質学的,地球物理学的特徴の特徴は, それらの構造と発展過程が新生代以前の特徴によって 決定されたことである. その違いの歴史的起源は, カンブリア紀以前と思われるが、古生代や中生代の 変動 (events) がより大きな役割を果たした. この 時期に大陸縁のセグメントが類似した構造配置

(structural plan) と地球力学体系 (geodynamic regime) があったとすれば、新生代中期に出現した 破壊的な造構火成活動システム(tectonomagmatic systems)の形態的な類似性または相似性は、非常に 重要になる。このことは、例えば古期の造山性メガ アーチの場に出現した黄海と日本海の環状構造(盆地 とその縁)にとくに当てはまる.これまでの研究 (Kulakov, 1986; Gavrilov, 2012, 2017 など) で, 半径が何百kmもあるこのような隆起は、中央・東ア ジアの地質構造と発達の典型的な特徴であることが 示された。これらの地域はすべて、山地や花崗岩の形 成が時間間隙をおきながらも、かなり長期(数百 Ma) におよんでいる。内生的深部活動である火成作 用とその継続期間は、プルームに関連した深部エネル ギー発生源の存在からのみ決定される。リフト起源 盆地 (Baikal や Tanlu) は、それらの中央部の一部 (モンゴル・シベリアや東アジアのプルーム直上のメ ガアーチ) で形成された. それらは、黄海や日本海に 残るメガアーチとともに、東アジアの地域的階層性の なかで、長期的に反転し発展する発生源システムに対 応した発展系列をなしている.

残存する日本海メガアーチの存在についての考えは 以前から提案されていたが(Zolotov, 1976; Kulakov, 1986), その境界, 年代, 内部構造, 発展 的特徴の解明という問題は、依然として議論の対象と なっている.たとえば、先カンブリア紀のメガアーチ や中生代の大陸縁海盆形成の推定年代といった疑問 である。図2に示した大陸-海洋漸移帯の日本海側セグ メントにおけるリニアメント体系 (scheme) は, 衛 星画像や乾陸地形のデジタルモデルを解釈して得られ た情報と、海底の衛星高度 (Google Earth プログラ ム)を解析して得られた結果をまとめたものである. 断層帯に関連する地域では、長大なリニアメントとそ れに伴う乾陸-海洋, 乾地-海洋-乾陸タイプの分離・ 転位が非常に顕著で、それによる直交・斜交・曲線状 の直線的な濃淡異常の複雑なシステムの存在が注目さ れる. 分離・変位の一般的様式と湾曲・放射状の断 層帯の特徴は、いわゆる"壊れたプレート"の構造に 対応している. これは、 曵裂凹地 (disjunctive depressions), 頂部が崩壊した (disintegrated roofs) 岩塩ドーム,および造山性アーチ状ブロック 隆起 (orogenic-arched-block uplifts) に典型的で, これらの頂部には、しばしば造構体系(tectonic regime)の反転とそれに続く重力性破壊によって伸 長し、リフト起源性グラーベンが形成される.

日本海盆のリング状形態と日本列島(本州,四国) の湾曲部をもとに、日本海にある直径約 1,500km の 古生代後期(後ヘルシニア期)のメガアーチを特定し た.その他の部分的要因として、宇宙からみた地質 データを用いて同定された典型的な放射状-同心円状 の分離とブロック転位システム;テクトニックマーク (tectonic marks)として考えられている乾陸-海断 層の一定の走向;盆地の形態構造縁に関する放射状 の海抜高度・地質学的な累帯構造;後期古生代花崗 岩類のバソライト(batholite)の存在,および海中 の大和堆の再構築構造(reconstructed structure)の 中核における大陸型地殻の存在;海面下の北-沖・沖 海膨における後期古生代花崗岩の発達;他にも始生 界-原生界,古生代・前後期白亜紀の花崗岩からなる 大陸縁ブロックの残存物である他の海山の存在;さ らに沿海州(Primorye)と本州の古生代,中生代, 新生代の酸性ベイサイト(basite)マグマ活動期の地 質構造の類似性と相関性を明らかにした.

再構築されたメガアーチの外側と内側へ湾曲する断 層系は、本州でとくに顕著で、そこでは構造線は北東 方向から子午線方向と北西方向に曲がっている.この ような古期日本海弧の外側へ集中する断層の一つ は、北海道の南西部を通過し、本州東側に広く分布 する前期白亜紀花崗岩山塊(阿武隈山地や北上山 地)を構成している.これらは、北海道の他の地域で は見られなかった(Geological Map..., 1992).再構 築されたアーチ状隆起の北側の境界は、中央海盆とタ タール海峡グラーベンの南端との接合部の大規模な急 崖(1000~1500m)に一致しているが(図3)、これ



図2. 衛星画像解析 (Google Earth) による日本海とその周辺地域のリニ アメント・ブロックシステム. (1) 断層帯に伴う線状および弧状リニアメ ント.

はリフト起源性構造の刻印である。朝鮮半島南東部 では,北西方向の広域曳裂断層帯 (regional disjunctive dislocations)が古島弧の弧状封印 (arched confinements) として作用している。

以上を補充・改善するため、日本海周辺の大陸と 島弧の乾陸のさまざまな地域において、広範囲の分 離・変位ローズダイアグラムの比較解析を行った。沿 海州、サハリン、韓国、日本列島の岩石から、構造配 置と曳裂断層ネットワークとの間の差異と相関の程 度を明らかにし、古期応力の除去による全体像を推 定した(図3).

高度 615-650km から可視領域で撮影された 1:1,000,000 および 1:500,000 のスケールの白黒衛 星画像を解釈するために,等深線図 (bathymetric charts) や地質・地球物理学マップからの情報や異な るスケールの日本海底とそれを取り囲む乾陸の構造 図 (tectonic schemes) を初期のデータとして使用し た (Shevaldin, 1978; Sigova, 1990; Utkin, 1989; State..., 2006; etc.). 異なる地域の画像の質にわずか な違いがあることは,データサンプルが比較的均質で あることと,測定誤差が系統的であることを示してい る. 各サンプルには 200~250 のアイテムが含まれて いる. その結果,本州の断層系と日本海周辺の乾陸 部分の対相関係数 (PCCs: the pair correlation coefficients) は,四国が 0.54,九州が 0.36,朝鮮

半島が 0.39, 沿海州が 0.41 と なった.このことは、再構築され た古期日本海弧を構成する乾陸部 分の分離変位場間の相関関係が, 平均的(四国)には弱いが直接的 な関係があることを示している. この解釈の正しさは、本州と北海 道の島の曳裂断層帯系の方向が, 統計的にはかなり異なることによ り確認される (対相関係数 PCC=0.07). このことは, 認識さ れた古期アーチの域を超えた日本 海島嶼の最北端の島は、(南西部の セグメントを除いて)内因的に (autonomously) 発展し、サハリ ンと千島の転位システムとより密 接に関連していたことを示す初期 のデータと一致する.本州やサハ リンの断層系で,対相関係数値が 負(-0.11)になった理由が明らか になった. また, 空間的にも成因 的にも無関係な本州弧とアムール川 下流域のローズダイアグラムの断層 の向きが負の対相関係数値(-



図3. 再構築された日本海メガアーチの異なるセグメ ントに対する曳裂断層の模式図. 日本海底のデータ (Sigova, 1990)を含む:(1)地質学的・地球物理学 的データに基づいて認識された日本海底の断層;(2) 地質学的・地形学的資料に基づいて認識されたアー チ状の断層;(3)衛星画像解析から得られた地域的な 不連続変位ネットワーク;(4)テクトニックマーカー としての断層帯;(5)地形学的情報と地球物理学的情 報(クロスハッチ)に基づいて構築された大陸,島 弧乾陸,日本海底の分離転位のローズダイアグラム (Sigova, 1990).白地に三角の打点部は不明瞭な地域.

0.31) であることからも、この結果の妥当性が確認 される.

これらの違いの主な理由は、地質構造の特性、地 質地塊の発達、そして広大な領域での局所的な曳裂シ ステム (systems of disjunctives)の卓越する方向を 決定した地域横断的な大断層帯の存在である.この 例として、サハリン島、北海道中央部および本州北東 部を貫く伊豆-ボニン (南方諸島-サハリン)断層帯 の,子午線沿いの一連の深い断層が挙げられ,それに よって南方海嶺の走向と構造,伊豆-ボニン海溝の位 置が決定されている.衛星画像解釈のデータは,沿海 州とサハリンの海岸線が,走向方位345°をもつ朝鮮 半島の東側に広く分布していて,やや平行な曳裂断層 によって構造的に決定されていることを示している. 先に得られた,日本海盆周辺における地域的なランク の曳冽断層による硬い構造枠が存在するというデータ (Gavrilov, 2017)も,後ヘルシニア造山のアーチブ ロックメガ構造が適切に同定されることを裏付けてい る.

多くの研究者の意見(A. M. Smirnov, I.I. Bersenev, J. Tazav, M. Minato, ほか) では, 日本列 島は歴史的に中朝クラトンの断片として発展し、その 中朝クラトンは造構マグマ活動の活性化を伴った何回 もの造山・地溝形成段階を経てきたと考えられてい る. 文献解析により、日本列島と南沿海州の領域に おける共通の地質的発展は、先カンブリア時代にま でさかのぼることがわかる。日本列島で知られている 古い複合体は,飛騨片麻岩,三郡・阿武隈・北上帯 で見いだされる変成岩である。飛騨帯には片麻岩の ほか、大理石・泥質頁岩・古生代前期の花崗岩など が含まれる。これらの岩石は年代的にも岩石化学的 にも沿海州のハンカイ(Hang-kai)山塊のものに似 ている (Geologiya dna..., 1987). 日本海では, 海 面下の北隠岐海嶺と隠岐海嶺および名前の由来と なった島々に、変成岩や片麻状花崗岩が確認されてい る (Geological Map…, 1984). 丹波-美濃帯は, 二 **畳紀の砂岩・礫岩・玉髄・斑岩・枕状溶岩と、三畳** 紀およびジュラ紀の少量の玉髄・斑岩・砂岩を伴った argillitesに代表される地層からなる。同様の複合体は アムール川南部地域でも知られており、中生代前期の 丹波-ウスリースク構造形成ゾーンのレリック構造の 存在を推測する根拠となった(Geologiya dna…, 1987).

花崗岩質マグマとそれに関連する礫岩の複合体が出 現した時期から判断すると、日本列島に最初の山岳 構造が出現したのは、古生代の初めの頃である.カ ンブリア紀・オルドビス紀・石炭紀・ペルム紀・ジュ ラ紀前期・白亜紀から鮮新世にかけての花崗岩質マグ マの出現は、建設的な構造運動の多くの段階を反映し ている.日本列島の様々な年代の堆積および火山性 堆積複合体にみられる粗い陸源性の素材は、花崗岩-変成岩層が厚く、破壊に対して比較的強いという特徴 をもっており、隆起の異時性(heterochronous)シ ステムに関連した長期にわたる侵食地域を示してい る.地質構造と発展の同様の特徴は、日本海の西岸 でも記録されている.

南沿海州の大陸棚にあるルーズな被覆堆積層のベー スには、原生代のマグマタイト (magmatites) と変 成岩(セルゲーエフ山塊),古生代の後ヘルシニア台 地基盤、および東シホテ・アリン火山帯の白亜紀後 期の噴出・貫入岩をともなった中生代の殻板の複合 体がある. ルスキー島に加えてアスコルド島やプ チャーチン島でも、台地をほぼ水平に被覆する堆積物 のレリックが記録されている (Gavrilov, 2017). ポ ポフ島とルスキー島における後ヘルシニア台地基盤の 構造にかかわった花崗岩地塊では,古生代後期-中生 代前期の準平原の形成段階を反映する大地の風化し た地殻のレリック域が発見されている。これらは、古 生代後期と中生代前期の変わり目に起こった構造様式 と海進の大反転の痕跡である。南沿海州の領域にお ける海成の堆積条件は、白亜紀前期以前とその時期に は存在していたが、いくつかの盆地では局所的にしか 続いていなかった。その後の地殻変動様式の逆転と領 域の隆起は、白亜紀前期に始まり白亜紀後期と暁新 世前期にピークに達した地域的な造山過程に関連して いる。これらの過程は、深成活動の関連と火山起源 の白亜系の両者が知られている日本列島にも影響を与 えた (Geo-logical Map…, 1992). 改造された中生 代後期の日本海メガアーチの活動は、海面下のクリ シュトフォビッチ海嶺における白亜紀前期の花崗岩, 本州の東側の大規模なバソリス、大和堆における白亜 紀後期の酸性噴出物が存在することで確認されてい る。また、大和堆だけでなく、隠岐沈水海嶺や北隠 岐海嶺にも,混合された組成の漸新世~中新世の火 山岩が広くみられる (Geological Map…, 1984).

この地域の隆起は、それぞれに異なる発展をしてき たが、地域的にマグマを制御する深部断層による安定 したネットワークが存在することによって、普遍的か つ継承されてきた方法で決定されている。中生代の造 山帯と東シホテ・アリン大陸縁火山-深成帯の地域 は、大陸で最も強く隆起したが、初期の統合された 地域(ハンカイとセルゲフ地塊、中朝後ヘルシニア台 地)では、造山過程とそれに伴う侵食-削剥現象はあ まり活発ではなかった。比較してみると、中央シホ テ・アリン山脈の最大の高さは 2km であるが,沿海 州南部では 1km 以下である。ムラフヨフ-アムルス キー半島の流域にあるスイファン系の後期中新世の礫 や砂からなる地域のヒプソメトリックな位置は、沿岸 の地形構造の中で更新世-完新世の正の運動の振幅 が 200-250m より大きくなかったことを示してい る.

日本における花崗岩の主な形成年代は、カンブリ アーシルル紀,石炭紀,ペルム紀,ジュラ紀前期,白 亜紀前期,白亜紀後期-鮮新世である.塩基性深成岩 の場合,形成時期はジュラ紀前期,白亜紀前期,白亜

紀後期-鮮新世である(Geological Map..., 1992; Gavrilov, 2012)。また、大陸縁海盆における玄武岩 火山活動と、酸性と塩基性マグマの迸入活動の年代的 関係は、日本海の造構マグマ活動システムの発達した 新生代後期(鮮新世まで)に記録されている。マグマ 複合体の年代測定と、この地域のマグマ活動の一般的 な発展のより詳細な分析は、顕生代の間、沿海州と日 本列島の領域で、12もの相関した個別の造構マグマ 活動の段階があったことがわかる。例えば、沿海地 方では、カンパニア~マーストリヒティアン期にマル ヤノフ、オルギン、コルフォフスク花崗岩複合体が形 成され (State…, 2006), 一方, 日本では, 広島・白 川花崗岩複合体が形成された。白亜紀後期の酸性マグ マ活動の段階は、年代的にも関連している。沿海州で は、フンガリスク、トロイツク、タチビンスク、ウス ペンスクの複合岩体の貫入に、本州東部では、阿武 隈山地と北上山地のバソリスに関連している。

エネルギーやマグマを生成する個々の深部センター やプルームの存在は、この地域の全期間における造構 マグマ活動によっても示される。古生代を除いて、日 本の中生代〜新生代の塩基性迸入マグマ活動と花崗岩 形成のプロセス(白亜紀初期〜鮮新世)に限ってみる と、その活動は 140Ma 前後である。中生代-新生代 のやや長い期間は,酸性および玄武岩質火山活動の 段階(白亜紀前期~完新世)で占められている (Gavrilov, 2012)。同様の状況は南沿海州でも記録 されており、プルームとマントルダイアピルの供給源 体制が、普遍的かつ二重の役割を果たしていることが 推測される。地殻が圧縮され、透過性が低い場合に は、花崗岩の形成や造山帯が形成され、地殻が伸長 し、透過性が高まると、地溝形成帯ではマントルダイ アピルが出現し、塩基性のマグマが広く分布し、盆地 や窪地が形成される。このような違いは、母岩の超変 成やパリンジェネシスなどの大規模な現象をもたらす ような、比較的閉鎖された供給源体制における温度 様式やガス-流体システムの持続時間によって決定さ れると考えられる.発達過程の最終段階にあるオー バープルームメガアーチでは, 圧縮(周辺部)と伸張 (中央部) システムが共存しているため, 異なる動き の構造運動や異なる組成のマグマが発生し、それに 伴って断層や地形の形態が変化する。研究によると、 大陸縁辺の山岳構造の形成に最適な条件は、圧縮と 伸張の体制の変化に関連している。シホテーアリンお よびキンガノ-オホーツク造山系の構造的基礎は、マ グマ性アーチと造構マグマ的隆起によって形成されて いる (Gavrilov, 2017).

パルスの特徴,酸性と塩基性マグマ活動の時系列的 な相関関係,大陸-海洋漸移帯の日本海セグメントの 地下における一般的ではあるが不連続な活動期間

(数百Ma),そして周期性のみられるデータ(とくに 地殻変動とマグマの短い断続性)は、新モビリスティ クな地質発達モデルの観点からは説明できない。日本 海の西縁と北西縁を占めるシホテ-アリン造山帯は, 大陸地殻がジュラ紀中期~アルビアン期になって初め て形成されたテレーンで、衝突・付加コラージュであ るとされている (Khanchuk, 2000). 造山性花崗岩 のマグマ活動と名前の由来となった火山・深成岩の縁 辺部大陸帯にみられる岩石組成は、沈み込みと衝突 による地殻変動のメカニズムの結果と考えられてい る. ウィキペディアのデータ (<http:// ru.wikipedia.org> Geology of Japan) によると、日 本列島は、シルル紀から何億年もかけて起こったリソ スフェア・プレートの動きの産物であるとされてい る. この間,いくつかの海洋プレート(10枚のうち9) 枚)が沈み込んでいる。最後のプレート(イザナギ) は 9,500万年前に沈み込んだ。漸新世(2,300万年 前)には、沈み込んだプレートが日本の中国・九州 地方を隆起させ、日本海の開裂をもたらした、古地磁 気のデータによると,現在の日本弧の湾曲(曲率半径 から判断して、少なくとも 250~300km はあると思 われる-著者)は中新世前期に現れ、日本海の深海盆 の開裂に関連していた。沿海州と日本列島では、異地 性をあらわす火山, 島弧, 前弧トラフ, タービダイト 盆地などの付加プリズムの異なる年代のテレーンが確 認されている. 古地磁気データ (Khanchuk, 2000; Geodinamika..., 2006) によると、シホテ・アリン 造山テレーンのいくつかは 2,500km も移動してい る.

これらのデータは、巨大な質量とそれに見合った慣 性モーメントをもつリソスフェア・プレートが、大規 模かつ時間的に無秩序に動くという考えに反する. 太平洋プレートとユーラシアプレート間の相互作用領 域における圧縮・伸張の地球力学システムの変化は, 長周期の発達サイクルにしか影響しないと思われる。 それよりも良いのは、長寿命の深部エネルギー生成 のセンターとゾーンのモデルであり,構造運動と中枢 のマグマ活動の異なる方向性は、プルームとそれに関 連するマントルダイアピルとマグマ源の周期的な活性 化によって決定される。これらは、間欠泉や火山の原 理に従ってふるまい、過剰な物質や熱的・機械的エネ ルギーを蓄積したり、時には放出したりする開放系 である。マントルやマグマの中心部が圧縮解除され、 等方的に不安定なレンズが形成される条件は、深部溶 融物が流体やガスで比較的高く飽和しているときに、 深部断層のゾーンが引き離される際の横ずれ運動に よって、静水圧が大幅に低下することである。ガス状 やガス流体は、惑星の表面下の深いところでの累積脱 ガス(減圧現象)や、温度様式が変化したときに、そ

れ以前に結合していた揮発性成分のジェットや流体の 放出に続く物理化学的反応の結果としても形成される ことがある (Letnikov, 2003).

すでに指摘したこと(Gavrilov, 2009; 2017)であ るが,超沈み込みマントル内の対流マスムーブメン ト (Elsasser, 1971; Gill, 1981; ほか)による深海海溝 や火山弧の大規模な東進に加えて,引き離しのメカニ ズムにもとづく日本海盆形成のテクトニックモデル (Lallemand and Jolivet, 1985; Utking, 1989; など)

では,地質空間の問題が無視されている.これは,日本海盆が日本列島の南西部の時計回りの回転と北西部の反時計回りの回転によって形成されたという考え

(Kawai et al, 1962) や, 背弧拡大やリフトの形 成・拡大によるリソスフェア・ブロックの大きな移動 を規定する構造にも共通している。例えば、古地磁気 データ (Otofuji, 1996) は、日本海の深海盆が開い たことにより、現在の日本弧の湾曲が中新世前期に 出現したことを示す.同時に、日本海盆の底で新生代 後半の大きな水平運動を伴うあるいはそれを補う衝 突転位は、隣接する島や大陸の陸地では記録されてい ない。本州東部(阿武隈山地、北上山地)でも、深海 海溝の島弧斜面でも、衝突変形の痕跡や衝突-造山複 合体の存在が確認されていないことはよく知られてい る (Vasiliev and Choi, 2001). 前述のように、阿武 隈山地と北上山地の構造基盤は、白亜紀前期の花崗 岩の大規模な山塊で構成されている。また、東京湾に 隣接する本州の南東部は、全体的に平坦な地形となっ ている. 同時に、日本海盆に隣接するマグマ活動によ る山状の構造は沈降している。本州西方の東シホテ-アリン火山帯やグリーンタフの褶曲した基盤が現在の 海面より下にある場合が多い。日本海の中央海盆 (Prokudin et al., 2018) や他の海盆 (Geology..., 1996) における多数の地質-地形学的プロファイル上 の未固結被覆層内にみられる転位解析では、スラン ピングとドレーピングの重力褶曲が優勢で、オーバー スラストや押し付け断層などの衝突形態がまったくな いことが示された。海面下の高まりや連なりの主な 構造要素は、残された地塁や様々な大きさの火山構 造である.

入手可能な水深データによると、中央海盆(水深 3,700m)には2つの海溝がある.西の楕円形(R1= 160km, R2=100km)の海溝と東の丸みを帯びた (R=160km)海溝である(図4).その総面積は 750×350km である.重力や地震の作業結果 (Geology..., 1996; Prokudin et al., 2018)から すると、地殻の厚さが薄いこと(8.5~10.5km)で 特徴づけられる.



図4. 日本海の水深図(Karnaukh et al.2007)には、想定される古 生代末期のメガアーチを改造したアーチ型断層のネットワークと、 新生代末期のマントルダイアピアが破壊的に発達したことに伴う深 海盆のいくつかのリング型構造が加えてある。地形の傾斜勾配が異 常に高いゾーンとして、(1)隣接する直線状のリニアメント、(2)連 結した負の形態のアーチ状やリング状のリニアメント、(3)海面下の 大和堆は残存する日本海メガアーチのコアが示してある。 DSDPLeg31 と ODPLegs127,128 プロジェクトの深層井をそれぞ れ黒点と三角で示す。EKU は East-Korean Uplandの略。

日本海の南側にある本州海盆と対馬海盆のパラメー タはかなり低い.本州海盆は不規則な楕円形 (200×150km)で,最大水深の領域が北西にずれて おり,対馬海盆は円形(R=90km)である.水深は それぞれ3,060mと2,120mである.日本海盆の深 部構造のデータが示すように,本州海盆・中央海盆・ 対馬海盆には花崗岩層は存在しない.それらは大きな 海面下の高まりに対して,熱的に低いことが特徴であ る.いくらかのデータによれば,120mW/m² ほどの 強さである(Shevaldin, 1978):他のデータ (Prokudin et al., 2018)では最大140mW/m² と なっている.ちなみに,大和堆の下の地殻の厚さは 26km である(Geology..., 1996; Karp et al., 2007).残された地塁や火山構造によって形成された 深海盆のパラメータとその母体となる海面下の隆起の 特徴から,将来の海盆発達の初期段階で 高まりの間に位置する主な地溝や海盆の 大きさは数十 km を超えることはないと 考えられる.地殻の透水性が高まると, 超塩基性マグマ(かんらん岩など)の貫 入や突出の深部注入によって形成される 転位や本体,また玄武岩質火山活動が環 境構造の独立した要因となり,花崗岩, 変成岩,堆積岩などの比較的軽い岩石に 取って代わり,マントルダイアピル上の 地殻の沈下を引き起こしたのである.

これらの負の形態構造の地形学的・地 球物理学的特徴から,研究者の中には, 初期研究の早い段階で、比較的小さなマ ントルダイアピルの突起物のようなもの として考えた人もいる (Geology…, 1987). 筆者の解釈では、それらはプ ルームの岩枝である。大和堆に関わる日 本海における深海盆の一般的な位置は、 同心円状である.このような内部構造は 軌道衛星型であり、熱流量や質量の移動 流が周辺に分配されていく熱源システム の典型である (Gavrilov, 2017), これ は、残されたメガアーチのコア部分に、 古生代後期花崗岩の大きな山塊を持つ, 比較的透水性の弱い連結した大陸型の地 殻のブロックが存在することによる。衛 星コア型の基礎構造を持つ日本海の造構 マグマ活動システムの一般的な内部構造 は,後ヘルシニア造山メガアーチの発達 の構造的な段階と破壊的な段階の構造要 素が重ね合わされた結果である。

以上のデータを用いて,古生代後期か

らはじまるメガアーチとそれに隣接する 再構築領域の主な発展段階を以下のように識別するこ とができる.ペルム紀末期は、ヘルシニア造山の最終 段階で、中央部に大きなバソリスをもつオーバープ ルーム造山メガアーチが出現したことが特徴である. 古生代-中生代境界から中生代前期にかけては、地殻 変動様式の反転、造山性隆起の破壊、地域的な平坦 面の形成、海進、後ヘルシニア台地の殻板複合体の形 成(三畳系、下部・中部ジュラ系、下部白亜系)など があった.ジュラ紀後期-白亜紀前期および白亜紀後 期-暁新世は、ロシア極東における建設的地殻運動が 新たに連続した段階(ただし、離散的な)であり、 規模の大きな花崗岩塊の貫入と、レリックメガアーチ にもみられる大規模な造山現象が特徴であった. 中生代前期から中期にかけての地殻変動様式の変化 のうち、地溝形成や破壊的なプロセスの出現は、始 新世-中新世-鮮新世に限られる.この時期には、南 沿海州の新旧の山間盆地、山脈のふもとの大陸内盆 地、大陸縁盆地が活性化され(Khasanskaya, Slavyanskaya, Tavrichanskaya, Shko tovskaya な ど)、それに伴って始新世(Suvor-ovskii, Zaisanovskii)と中新世(Slavyanskii, Shuvanskii) にコンフォーマルな玄武岩複合体が形成された (State..., 2006).領域の沈下と緩やかな浸水を背景 に、中生代後期に活動したメガアーチの最も隆起した 部分は、海面下の隆起域や島のシステム(リムスキー -コルサコフとエンプレス・ユージェニー群島など) に変化した.

南沿海州の大陸縁における新生代後期の破壊の深 い地溝形成の本質を示す指標は、小さなマントルダイ アピルといくつかの小さな火山構造の突出に関連した 中新世の玄武岩火山の中心 (Shufanskii and Shkotovskii) (R=30km) である (Sakhno, 2008). メガアーチで破壊的なプロセスが始まったのは、海面 下の南大和堆にある始新世玄武岩による大規模な被 覆層(170×25km)が形成されたためと考えられる (Geological Map…, 1984), 中央海盆におけるゆ るやかな堆積物からなる被覆層の基部にある地層の 年代を推定する際にも,同様の時間区分が得られた (Prokudin et al., 2018). 海盆の激しい沈降は、や や遅れて漸新世後期に始まり、対応する年代の玄武岩 の面的広がりをもつ噴火を背景に、鮮新世まで続いた (Geology…, 1996; Karpi et al., 2007;など). 玄武岩のマグマ活動,地殻の破壊的な変化,またこの 不可逆的な発達の段階は,日本海におけるレリックメ ガアーチの発達段階の新生代後期における質的に新し いイベントとして考えることができる.

結論

提案した大陸-海洋漸移帯の日本海セグメントの構 造と発達のモデルは、地形学・地質学・地球物理学の 情報と、宇宙からの地球リモートセンシングデータを 統合的に使用することで特徴づけられている。大陸-海洋漸移帯の日本海セグメントにおける古生代後期の メガアーチを復元するための論拠として、私たちは次 のことを考究した。衛星画像ではっきりと観察される アーチ型と放射状の断層のシステムをもつ本州の曲 がった輪郭;破壊された殻板タイプの分離とブロック 断層の代表的なシステムの存在;宇宙ベースのデータ から特定された放射状同心円的な測高法的・地質学 的・地球物理学的な帯状配列;日本海盆の幾何学的 中心部に保存されているメガアーチの古いコアが、大 陸型地殻と古生代後期花崗岩の大規模なバソリスの存 在を特徴とする海面下の大和堆に関連すること;花崗 岩塊・酸性噴出物のブロック・および異なった年代 の陸源性岩石からなる亜大陸型の地殻をもつ残存する 海面下での他の高台;海盆の構造的な縁辺にある大 陸と島の陸地のセグメントにおけるリニアメントシス テムの中程度や低度の直接的な相関関係;大和堆周辺 のマントルダイアピルの突出に関連する深海盆の環状 場 (orbital location).

宇宙測地学データ (SLR, DORIS, GPSなど) を背 景にして、適度に固定された構造に戻ることは逆説的 である.しかし、状況はまだかなり不確かである.人 工衛星による測定は、決定的な論拠を得るには明ら かに短すぎる。サハリン、千島列島、カムチャッカの 地球力学試験サイトでの機器観測から得られたデータ (Voeikova et al., 2007) によると、記録された 別々のブロックの動きは、しばしば相互・反転作用 特性 (reciprocal or vibration character) をもち, 応力場ベクトルの方向の周期的変化や上部岩石圏の圧 縮-伸張システムの交替を反映していることが示され ている (Gavrilov, 2017). 日本海盆の形成に関する 既存の仮説、地溝形成または背弧拡散、プルアパー ト、マントルダイアピルなどのいずれの仮説も、その 地質学的発展の前史を考慮しなければ、大陸-海洋漸 移帯のセグメントにおける上記の構造的特徴を単独で 説明することはできない。もし、地溝形成とマントル ダイアピルのプロセスが、中生代前期と新生代中期・ 後期における大陸縁の破壊的な変化の方向性、特 徴, 強度の両方を決定した後ヘルシニア造山のオー バープルームメガアーチの転位システムに課せられた とすれば、多くの矛盾が解消される.

我々の見解では、本州の東側と深海海溝の島弧斜 面には衝突と衝突付加の転位補償ゾーンが存在しない ことの入手可能なデータ;大規模な貫通断層(陸地や 海底に痕跡を残すテクトニックマーカー)の存在;日 本海盆周辺に地域的な曳冽断層のテクトニックな枠 組みの存在;構造要素の放射状の同心円配置とそれに 一致する高度分布のゾーニングの保存は、大陸-海洋 漸移帯の日本海のセグメントにおいて、リソスフェア ブロックやプレートの大規模な移動の可能性は排除 される.

プルームの突出に伴う日本海の環状構造システムの 発展における建設的・破壊的傾向の変化の核心は, 深部エネルギー生成センターの個別の脈動的活動(サ イクルとリズム)と,地域・惑星レベルの地球力学体 制の変動との重なりにある.発達の最終段階にある オーバープルームメガアーチでは,圧縮(周辺部)と 伸張(中央部)の条件が共存し,その結果,異なる 地殻変動や異なる組成のマグマ活動,それに付随する 断層や地形の形成が起こる可能性がある.

研究基金について

この作業は, State Task 0271-2016-0003, 登録番 号 AAAA-A17-117030110032-3 の一部として実 施された.

"Spatial and Temporal Variations in Geophysical Fields, and Their Relationship to the Structure, Geodynamics, and Seismotectonic Processes in the Lithosphere of the Far East Seas of Russia and Their Margins (地球物理分野の時空的変動と, ロシア極東海域とその周辺部のリソスフェアにおける構造・地質力学・地震構造プロセスとの関係)".

文献

- Elsasser, W.M., Sea-floor spreading as thermal convection, Geophys. Res., 1971, vol. 76, pp. 1101–1112. https:// doi.org/10.1029/JB076i005p01101
- Gavrilov, A.A., The role of faults in the formation of coastlines of the Okhotsk Sea and the Sea of Japan. Paper 1: Regional aspect of studies, Geomorfologiya, 2009, no. 3, pp. 38–48.
- Gavrilov, A.A., Circular geomorphologic and geological features in the Japanese islands, J. Volcanol. Seismol., 2012, vol. 6, no. 1, pp. 15–30.
- Gavrilov, A.A., Morfotektonika okrainno-kontinental'nykh orogennykh oblastei (Yug Dal'nego Vostoka i prilegayush- chie territorii) (Morphotectonics of Marginal–Conti- nental Orogenic Regions (Southern Far East and Adja- cent Territories)), Vladivostok: TOI DVO RAN, 2017.
- Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii (Geodynamics, Magmatism, and Metallogeny of the East of Russia), Khanchuk, A.I., Ed., Vladivostok: Dalnauka, 2006, vol. 1.
- Geological Map of the Bottom of the Sea of Japan, Scale 1 : 2500000, Bersenev, I.I. and Krasnyi, L.I., Eds., VSEGEI, 1984.
- Geological Map of Japan, Third Edition, Scale 1 : 1000000, Geological Survey of Japan, 1992.
- Geologiya dna Yaponskogo morya (Geology of the Bottom of the Sea of Japan), Vladivostok: DVNTs AN SSSR, 1987.
- Geology and Geophysics of the Japan Sea (Japan–USSR Mono- graph Series), Isezaki, N., Ed., Tokyo: TERRAPUB, 1996, vol. 1.
- Gill, J.B., Orogenic Andesites and Plate Tectonics, New York: Springer, 1981. https://en.wikipedia.org/wiki/Geology_of_Japan.
- Karnaukh, V.N., Karp, B.Ya., and Tsoy, I.B., Basement structure and sedimentary cover seismostratigraphy in the northern part of the Japan Basin in the region of the Tarasov Rise (Sea of Japan), Oceanology (Engl. Transl.), 2007, vol. 47, no. 5, pp. 691–704.
- Karp, B.Ya., Prokudin, V.G., Medvedev, S.N., and Karnaukh, V.N., The Earth's crust structure according to seismic data (the Sea of Japan), in Dal'nevostochnye mo- rya Rossii (Far Eastern Seas of Russia), vol. 3:

Geologich- eskie i geofizicheskie issledovaniya (Geological and Geo- physical Studies), Moscow: Nauka, 2007, pp. 26–47.

- Kats, Ya.G., Poletaev, A.I., and Rumyantseva, E.D., Osnovy lineamentnoi tektoniki (Fundamentals of Lineament Tectonics), Moscow: Nauka, 1986.
- Kawai, N., Kume, S., and Ito, H., Study on the magnetization of the Japanese rocks, J. Geomagn. Geoelectr., 1962, no. 13, pp. 150–203.
- Khanchuk, A.I., Paleogeodynamic analysis of the formation of ore deposits in the Russian Far East, in Rudnye mestorozhdeniya kontinental'nykh okrain (Ore Deposits of Continental Margins), Vladivostok: Dal'nauka, 2000, pp. 5–34.
- IZVESTIYA, ATMOSPHERIC AND OCEANIC PHYSICS Vol. 56 No. 12 2020, 1580 GAVRILOV.
- Kosmicheskaya informatsiya v geologii (Space Information in Geology), Moscow: Nauka, 1983.
- Kulakov, A.P., Morfostruktura Vostoka Azii (Morphostructure of East Asia) Moscow: Nauka, 1986.
- Lallemand, S. and Jolivet, L., Japan Sea: A pull-apart basin, Earth Planet Sci. Lett., 1985, vol. 76, pp. 375–389. https://doi.org/10.1016/0012-821X (86) 90088-9.
- Lebedev, S.A., Satellite altimetry in Earth sciences, Sovrem. Probl. Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli Kosmosa, 2013, vol. 10, no. 3, pp. 33–49.
- Letnikov, F.A., Magma-forming fluid systems of the continental lithosphere, Geol. Geofiz., 2003, vol. 44, no. 12, pp. 1262–1269.
- Milanovskii, E.E. and Nikishin, A.M., The West Pacific rift belt, Byull. MOIP, Otd. Geol., 1988, vol. 63, no. 4, pp. 3–15.
- Otofuji, Y., Large tectonic movements of the Japan arc in the Cenozoic time inferred from paleomagnetism: Review and synthesis, Island Arc, 1996, no. 5, pp. 229– 249. https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.1996.tb00029.x
- Prokudin, V.G., S"edin, V.T., Valitov, M.G., and Medvedev, S.N., The central basin of the Sea of Japan: History of study and tectonics, Vestn. Kamchatskoi Reg. Assots. Uchebno-Nauchnyi Tsentr, Nauki Zemle, 2018, no. 40, pp. 82–104. https://doi.org/10.31431/1816-5524-2018-4-40-82-10
- Sakhno, V.G., Noveishii i sovremennyi vulkanizm Yuga Dal'nego Vostoka (Recent and Current Volcanism of the South Far East), Vladivostok: Dalnauka, 2008.
- Shevaldin, Yu.V., Anomal'noe magnitnoe pole Yaponskogo morya (The Anomalous Magnetic Field of the Sea of Japan), Moscow: Nauka, 1978.
- Sigova, K.I., Sootnoshenie pripoverkhnostnykh i glubinnykh struktur zemnoi kory vpadiny Yaponskogo morya (Rela- tionship of Near-Surface and Deep Structures of the Earth's Crust of the Depression of the Sea of Japan), Vladivostok: DVO RAN, 1990.
- Smith, W.H.F. and Sandwell, D.T., Bathymetric prediction from dense satellite altimetry and sparse shipboard bathymetry, J. Geophys. Res., 1994, vol. 99, no. B11, pp. 21803–21824. https://doi.org/10.1029/94SB00988
- State Geological Map of the Russian Federation, Scale 1 : 1000000 (third generation), Series: Far East: L-52, L-53, K-52, K-53, VSEGEI, 2006.
- Utkin, V.P., Sdvigovye dislokatsii magmatism i rudoobrazo- vanie (Shift Dislocations, Magmatism, and Ore For- mation), Moscow: Nauka, 1989.
- Vasil'ev, B.I. and Choi, D.R., Geologiya glubokovodnykh zhe- lobov i ostrovnykh dug Tikhogo okeana (Geology of Deep- water Trenches and Island Arcs of the Pacific), Vladivo- stok: Dalnauka, 2001.

- Voeikova, O.A., Nesmeyanov, S.A., and Serebryakova, L.I., Neotektonika i aknivnye raslomy Sakhalina (Neotecton- ics and Active Faults of Sakhalin), Moscow: Nauka, 2007.
- Wessel, P., Global distribution of seamounts inferred from gridded Geosat/ERS-1 altimetry, J. Geophys. Res., 2001, vol. 106, no. B9, pp. 19431–19441. https:// doi.org/10.1029/2000SB000083
- Zolotov, M.G., Nuclear-arch and ring structures of the Amur region, in Tektonika Vostoka Sovetskoi Asii (Tectonics of the East of Soviet Asia), Vladivostok: DVO AN SSSR, 1976, pp. 3–33.