



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 <<http://ievpc.org/journals.html>>

日本語版 Vol. 7, No. 3 (2020年8月) ■ Print edition ISSN 2186-9693

多数のカラー図面は→ ■ Online edition <<https://www.ncgtj.org/>>



編集長: Louis A.G. HISSINK (louis.hissink@bigpond.com)

編集委員: Bruce LEYBOURNE, USA (l_eybourne@iascc.org); Giovanni P. GREGORI, Italy (giovanni.gregori@idasc.cnr.it); Yoshihiro KUBOTA, Japan (kubota@env.sc.niigata-u.ac.jp); Leo MASLOV, USA (lev.maslov@cccs.edu); Per MICHAELSEN, Mongolia (perm@must.edu.mn); Karsten STORETVEDT, Norway (karsten.storetvedt@uib.no)

も く じ

■ 編集者から	In this issue..... 本号には.....	[小坂共栄 訳]	2
■ 手紙	Thoughts on the K-T event N. Christian SMOOT K-T イベントについて考える	[杉山 明 訳]	2
■ 短報	One idea of the heat transfer in the Upper Mantle 角田史雄 上部マントルにおける熱伝達に関する1つのアイデア	[矢野孝雄 訳]	5
■ 原著論文	Micro gravitational variations and earthquakes used for to search of hydrocarbon deposits in the Po Plain (Italy) Valentino Straser, Mario Campion ポー平野(イタリア)の炭化水素鉱床探査に用いられた微小重力変動と地震	[村山敬真 訳]	8
	Electromagnetic signals in Elf band related to the seismic sequence of Verzegnis* (Udine - Italy) in June - July, 2019 -magnitude max. equal to 3.9 Mw Riccardo Rossi 2019年6~7月の最大マグニチュードMw3.9のVerzegnis(ウディネ州, イタリア)群発地震に関係した EFL 周波数帯における電磁気信号	[小泉 潔 訳]	13
	Tectonics of Earth: Octahedron frame and antipodean continents and oceans (Geometry of Earth) G. G. Kochemasov 地球のテクトニクス: 八面体フレームと対蹠的な大陸と海洋(地球の幾何学)	[矢野孝雄 訳]	23
	Wolf number related to M6+ global seismic activity Gabriele Cataldi, Daniele Cataldi, Valentino Straser 全地球 M6+ 地震活動に関連するウルフ数	[矢野孝雄 訳]	26

IEVPCにご寄付を: 国際地震火山予測センター (IEVPC) には, 大地震と火山噴火を予測するためのもっとも新しい最先端技術と手順を採用して命を救うという重要な人道的使命があります. <http://www.ievpc.org/donate.html> IEVPCのCEOであるBruce Leybourne (mail@ievpc.org) へお気軽にお問い合わせください.

NCGT ジャーナルへの連絡, 連絡, または資料の掲載: 以下の方法をご利用ください. NEW CONCEPTS IN GLOBAL TECTONICS 1. 電子メール: louis.hissink@bigpond.com; 2. 郵便, 航空速達など: 33 Fields Road, Tanja, NSW 2550, Australia (MS WordまたはODT形式のファイル, およびgif, bmpまたはtif形式の図). 3. 電話, + 61 419 283775.

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.

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

連絡先 〒950-2181 新潟市西区五十嵐二の町 8050 新潟大学理学部理学科自然環境科学プログラム 久保田喜裕
TEL/ Fax 025-262-7534 E-mail: kubota@env.sc.niigata-u.ac.jp

[翻訳メンバー] 赤松 陽・岩本広志・川辺孝幸(翻訳記事選択担当)・窪田安打・久保田喜裕(翻訳記事選択担当)・小泉 潔・小坂共栄・小松宏昭・佐々木拓郎・柴 正博・杉山 明・角田史雄(翻訳記事選択担当)・宮城晴耕・村山敬真・矢野孝雄(連絡・組版担当)
[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

編集者から FROM THE EDITOR

(小坂 共栄 [訳])

本号には・・・

この号は、N. Christian Smoot 氏の Letter で始まる第 7 巻 (2019) 最後の号である。Smoot 氏は、第 7 巻 2 号の Peter James 氏の K-T event に関するエッセイへの思索について述べている。Fumio Tsunoda 氏は、上部マントルでの熱移送に関する一つのアイデアを提起している。Valentino Straser 氏と Mario Campion 氏は、イタリアの Po Plain 地域の炭酸塩岩の重力値の微小な変化が地震の前兆をとらえるツールとして使えることをレポートしている。一方、Gabriele and Daniele Cataldi 氏は V. Straser 氏とともに太陽の黒点数 (ウォルフ黒点数) と地震活動との関連について述べている。Riccardo Rossi 氏は電磁気的な前兆シグナルを地震イベント (の把握) に用いることを述べている。G.G. Kochemasov は、大陸や海洋地域における地球表層部のマクロな構造的特徴についての魅力について述べている。

科学の世界では、ゆっくりとしたパラダイムの転換が起きることは自明のことである。とりわけグローバルテクトニクスの分野では、地球のテクトニクスや気象が太陽の電磁気的な力に支配されているが故にそれが顕著である。かくして、地球は宇宙空間においてもっぱら太陽によって活性化させられている天体だといってもよい存在である。

今日、われわれは A.L. Peratt のテキスト「Physics of the Plasma Universe, second edition, 2015」の記述によって、太陽系がプラズマ状態にあることを知っている。その中であって、地球は電磁気的な状態が優勢でかつ電気的には誘電的な状態にあるとみなされている。地球では表層部の気象が、不安定なプラズマによって調節されており、太陽光の果たす役割は電磁気的な力に比べると、より小さなものである。

2020 年 9 月に Florida, Orlando (USA) で開催される予定の WMSCI (World Multi-Conference on Systemics,

In this issue.....

Cybernetics and Informatics) Conference) において、plasma tectonics に関する新たな多くの研究成果が公表されることになっている。そこにおいて IEVP 所属の研究者達も参加し、電磁気・プラズマなどの効果について新概念を提案することになっている。これらの論文は、2020 年の早い時期の NCGT ジャーナルに掲載されるであろう。

ここ数か月の間、Bruce Leybourne と編集者は IEVP が今後どの方向を目指すべきかという問題、それと同様に NCGT ジャーナルが今後も引き続き適切な方向性を維持すべきであることなどについて多くの議論を重ねた。しかし、プラズマ物理学の重要性は直感的には理解されても、それを地質学的事象の基本に置くことまではいまだ難しい。明確に理解されていないことの一つは、イオン化したものとまだイオン化していないものとの境界の性質が、これまでに認められているシステムの明確さに比べあいまいなことである。大気の渦現象については、流体力学的よりもっと容易に電磁気的に説明が可能である。火山噴火は粘着性のあるプラズマの噴出であり、その内部で渦を生じながら流れる電流として説明できる。

われわれは、科学的な予知・予報という世界から少し距離を置く決心をしなければならない。地質学的な天変地異というのは、本来的に予知困難という性格を持っている。それ故に、当初は予知・予言というものが形而上学者や予言者の主たる活躍の舞台であった。ニュージーランド北島における最近の火山の噴火予知については誰も成功していない。

NCGT ジャーナルがとるべき方向は、New Concept in Global Plasma Tectonics Journal あるいは NCGPT Journal のマストヘッド (masthead) のもとに進むべきではないかと考える。この変更について読者の意見を寄せられたい。とくに決まった書式はない。

手紙 LETTER

K-T イベントについて考える Thoughts on the K-T event

N. Christian Smoot
6460 Falling Water Lane, Hoschton, GA 30548 USA
christiansmoot532@gmail.com

(杉山 明 [訳])

最新の NCGT Journal の Peter James による非常に優れた論文を読んで、私は、これまでよく知られている約 65Ma の白亜紀末における恐竜の最期というイベントに関して、再び好奇心を呼び覚まされた。大多数の人々は、当時の火の玉の衝突が、恐竜絶滅の原因であるということ信じ込んでいる。それによって引き起こされた大規模な火災が結局はすべての地上に棲む種の息の根を止め、鳥類と海生動物類を残した。このイベントを通して生き残った小型の哺乳動物があることさえ知られている。しかし、これは、本当に、とくにその一連の過程で起こったのだろうか？

A. A. Meyerhoff は、古生物地理の長期的な見方を取り入れることにより、大量絶滅の現代的な解釈に関する最初の問題を提起した。このグループには、世界的に著名な古生物学者であり、生層序学者である Arthur James Boucot が参加していた。彼らは、米国地質学会に応じ、その時代の様々な動植物相の属の分布域を示した大作を生み出した。私が、65Ma の絶滅イベントに関する彼らの調査結果について、詳しく説明しよう。

絶滅は自然の過程である。生物多様性が次第に貧弱化していく過程は、65Ma より前、白亜紀マーストリヒチアンに始まった。コッコリス、アンモナイト（少数の種は、さらに数 10 万年かそこら生き延びた）を含む軟体動物類、厚歯二枚貝類（68Ma まで生息）、淡水性腹足類、およびムラサキガイ類は、その食物連鎖がこれらの殻を作るものを含む有機体と同様、絶滅もしくは著しく減少した。

進化したプテラノドン (Pteranodons) と呼ばれる大型で飛翔する爬虫類の 40 属、100 種のすべてが、ケツアルコアトロス (Quetzalcoatlus) を例外として、大量絶滅前にすでに死に絶えていた (Weinhofer, 1996)。

海生爬虫類は老齢長寿へと自身を変化させた (Everhart, 2007)。イクチオサウルス (Ichthyosaurus) は約 250Ma に出現し、90Ma までにほとんど絶滅した。プレシオサウルス (Plesiosaurs) は約 220Ma に進化し、やっと終わりに至った。モササウルス (Mosasaurs) が多様化するにつれて、プレシオサウルスは滅び始めた。モササウルスの最盛期は 90Ma ~ 65Ma であった。これらの化石は、どの大陸でも発見されてきた。

白亜紀の間、さらに多くが 90Ma より前に他界した。Mehling (2009), Lessem and Glut (1993) の文献を用いて、Smoot (2012) が 85Ma に始まる 500 万年ごとの陸上棲息集団の (絶滅) リストを作成したところ、8 属が 85Ma までに姿を消していた。これらはすべて極東からであった。80Ma までに、極東と南米・北米からのさらに 10 属が加わった。75Ma は、モンゴルと北米から、それぞれ 14 属以上が加わることで、このリストが膨らんだことが注目される。事態が悪化し始めた 70Ma までに、ダスプレトザウルス (Daspletosaurus), トルードン

(Troodon), セントロサウルス (Centrosaurus), ケラトプス (Ceratops), ハドロサウルス (Hadrosaurus, 北米), ガリミムス (Gallimimus), オビラプトル (Oviraptor, モンゴル) など 55 属以上が死滅した

65Ma まで下ると、これらの 52 属は主として、ポドサウルス (Podosaurs, 北米, ヨーロッパ, アジア, アフリカ, 南極), オルニソポッド (Ornithopods, 大部分はハドロサウルス; 南極以外はどこでも), ケラトプシッド (Ceratopsids, 主として北米西部から), ティラノサウリッド (Tyrannosaurids, 北米西部とアジアのみ) であった。少数のティタノサウリッド (Titanosaurids) は、まだその辺にいた。

私はこの包括的なリストを銀行に持って行く気はないが、それは、何がいつ生きていたかということを見事に総括している。このリストは絶えず変化している。

熱帯性気候にあった約 95Ma に出現したチャンボサウルス (Champosaurus, 北米とヨーロッパ) とクロコディリアン (Crocodylians) は終わった。鳥類のような他の双弓類は、この悲惨な時期を乗り切った。

恐竜の絶滅に関する“理論”の大部分は、気まぐれとみなされてきた (Norman, 1994) が、次の 3 つだけは一瞥に値すると考えられている：1 つは Alvarez 支持者 (1980) の外来天体衝突説、1 つは、Leigh Van Valen (1973) ^{*1} の気候の悪化が哺乳動物の台頭を招いたとする説、そしてもう 1 つは、インドや北米西部における白亜紀後期の超火山活動モデルである。

^{*1} Leigh Van Valen : 米国の進化生物学者 (1935-2010)。業績としては、彼が発表した絶滅の法則を説明するために「赤の女王仮説」を提唱したこと、エルンスト・マイヤーの生物学的な種の定義に対して、生態学的な種の定義を行ったこと、HeLa 細胞を新種の細胞であるとして Helacyton gartleri と命名したことなどが挙げられる。(Wikipedia より)

火の玉が衝突した“証拠”は、チチュルブ (Chicxulub) クレーターでユカタン半島北西沖にあるが、その大部分は海底である。Luis Alvarez は、その地域だけでなく世界中の大量のイリジウムに注目した (Alvarez et al., 1980)。学界のその他の人々はこの流行りの説に乗り、Alvarez は、その発見によりノーベル賞を受賞した。けれども、Alvarez は実際のクレーターに入って調査をしたことはなかった。

しかし、真似のできない探検家の地質屋である Arthur Augustus Meyerhoff はメキシコの巨大石油会社である Pemex に雇われ、このクレーターを徹底的に調査した。この場所はユカタン 6 と呼ばれた。彼の発見したものは当然私有財産として所有され、したがって、それらは Pemex によってのみ保持された。Meyerhoff は 1966 年のサンプリングのコピーをとっておいた。そのデータに

関する論文は *Geology* の 1994 年 1 月号で公表された。

チチュルブはその時以来、繰り返しサンプルが採取され、イエローストーン (Yellowstone) に似た火山性クレーターであると分かった。それは衝突クレーターではない。火山はイリジウムを放出する。Alvarez や他の人々によって利用された層は、厚さや濃度が様々で、提案された K-T 境界より下のものも、上のものもあるようだ。加えて、この“イベント”が発生するまでには、40 万年以上かかった。クレーターそのものは、“・・・350m の最上部白亜系 (上にはマーストリヒチアの微小動物相, 下にはカンパニアン中期の動物相を伴う) の上に鮮新世, 中新世, 漸新世, 始新世, 暁新世の堆積物の秩序だったシーケンスがあり, そのすべては, 安山岩の広大な火山性地層の上にある・・・”ことを示している (Meyerhoff et al., 1994)。2016 年には、疑問を抱く何人かが、この Pemex のデータの一部を入手し始めた。彼らは、この原稿の執筆時点 (2019) で、まだそのデータを解読している。

1990 年代中頃のある時、私はオクラホマのタルサの彼の家で Arthur と話をした。彼は私に、層序シーケンスは、とくに K-T 境界を切っては、そうであるべきように正常だったと言った。地層には何ら異常はなく、破砕も変位も衝撃結晶もなく、異常は何もなかった。

もちろん、その期間中、Meyerhoff が何かを引用した人は誰でも、理由はどうあれ、自分たちの学歴を呪った。この情報は、“恐竜絶滅論争” (Officer and Page, 1996) というタイトルの本に持ち越された。この小さな本で、Charles Officer と Jake Page は、ユカタン 6 の坑井記録を示した。貫通した地層は 1645m に達した。それは、時代でいえば、カンパニアンからチューロニアンをカバーし、80 ~ 90Ma に当たる。それは、また、“この坑井記録と衝突溶融シートの間の類似性は何もない”ことを示した。Officer と Page は、“石油会社の地質学者と古生物学者は、どちらも、石灰岩、砂岩、角礫岩、結晶質火成岩、硬石膏の違いを語るができないし、チューロニアン、カンパニアン、マーストリヒチアン、暁新世の微小動物相の違いを識別することができない・・・”と結論づけている。

したがって、我々は、このチチュルブクレーターの無意味な考えと、K-T、あるいは、彼らが現在好んでそう呼んでいる K-T 境界を放棄しよう。それは、ここでは起こらなかった。興味深いことに、デカントラップは、約 65Ma のこの同じ時期に作られ、他方、ララミー造山は北米西部で 45 ~ 75Ma に起こった。

Leigh Van Valen は、明らかに、非常に優秀な進化生物学者である。他のアイデアの中から、彼は絶滅の法則の一部として、赤の女王仮説 (Red Queen's Hypothesis) ^{*2} を創造した (Van Valen, 1973)。この考えの中には、種は、同時期の進化の間、仲間内で相

互に影響しあう、つまり、他に勝つために、絶え間のない競争が存在するという冷厳で確固とした事実がある。Van Valen は、生態系は DNA より進化速度のよりよい預言者であると気づいた。ある種が、より大きな領域にいる種よりも小さな領域に住んでいるとすると、その小さな領域にいる種がまず死滅するだろう。不向きな種が、環境によりよく適合したものに取って代わられるとき、進化は連続的に働き続けるといえる。

^{*2} 赤の女王仮説 (Red Queen's Hypothesis) : Leigh Van Valen が 1973 年に提唱した進化に関する仮説の 1 つ。敵対的な関係にある種間での進化的な軍拡競争と、生殖における有性生殖の利点という 2 つの異なる現象に関する説明。(Wikipedia より)

1 つのトピックは、残りすべてより目立つ。もし、火山噴出物が、大型で陸上に棲む動物の絶滅の原因になるなら、インドのデカントラップの形成を取り巻く地質イベントを見過ごすことはできないだろう (Meyerhoff et al., 1996a)。デカントラップは約 65Ma に形成された。それらは容積が 512,000km³ で、500,000km² をカバーした。同様に、ララミー造山は、約 75 ~ 55Ma に、北米西部をカバーした (Amato et al., 2017)。仮に、サブダクションに関連した火山活動が、この時間枠の中で生じたでしょう。どちらも、チチュルブが噴出した容積よりもはるかに多くの溶岩を噴出した。残っていた恐竜の大部分は北米西部に棲んでいた。造陸イベントに関連する、押ししたり、突いたり、滑らせたりする風景は、火事や有害ガスがそれまでに何もしていなければ、邪魔になるものは何でも確実に押しつぶそうとするだろう

ともかく、その後足で小さな哺乳動物をつかみ、“汝ら、野獣ども”といいながら、互いに旋回するトリケラトプス (Triceratops) とティラノサウルスレックス (T. rex) の間の睨み合いが想像できるのである。

文 献

- Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F., and Michel, H.V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208/4448:1095-1108.
- Amato, J.M., Mack, G.H., Jonell, T.N., Seager, W.R., and Upchurch, G.R., 2017. Onset of the Laramide orogeny and associated magmatism in southern New Mexico based on U-Pb geochronology. *GSA Bulletin* 129/9-10:1209-1229.
- Everhart, M., 2007. *Sea Monsters-Prehistoric Creatures of the Deep*. (National Geographic Society, USA), 192p.
- James, P., 2019. *Essays on Global Tectonics, Number 5: On the Topic of Extinctions. New Concepts in Global Tectonics Journal* 7/2:24-32.
- Lessem, D. and Glut, D.F., 1993. *Dinosaur Encyclopedia (The Dinosaur Society, New York)*, 533p. Mehling, C.,

2009. Dinosaurs (Amber Books Ltd., Dubai), 449p.
- Meyerhoff, A.A., Lyons, J.B., and Officer, C.B., 1994. Chicxulub structure: A volcanic sequence of Late Cretaceous age. *Geology* 22:3-4.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-Kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C., and Choi, D.R., (ed) D.M. Hull, 1996a. *Surge Tectonics: A New Hypothesis of Global Dynamics* (Kluwer Academic Publishing, Dordrecht), 323 p.
- Meyerhoff, A.A., Boucot, A.J., Meyerhoff-Hull, D., and Dickins, J.M., 1996b. Phanerozoic faunal and floral realms of the earth: the intercalary relations of the Malvinokaffric and Gondwana faunal realms with the Tethyan faunal realm. *Geological Society of America Memoir* 189, 78 p.
- Norman, D., 1994. *Prehistoric Life: The Rise of the Vertebrates* (McMillan, New York), 247p.
- Officer, C.B. and Page, J., 1996. *The Great Dinosaur Extinction Controversy* (Helix Boks, Addison- Wesley Publishing Company Inc., various cities), 209p.
- Smoot, N.C., 2012. *Tectonic Globaloney: Closing Arguments* (Author House, Bloomington, Indiana), 155p.
- Van Valen, L., 1973. A new evolutionary law. *Evolutionary Theory* 1:1-30.
- Wellnhofer, P., 1996. *The Illustrated Encyclopedia of Prehistoric Flying Reptiles* (Barnes and Nobel, London), 192p.

短報 **SHORT COMMUNICATION**

上部マントルにおける熱伝達に関する1つのアイデア One idea of the heat transfer in the Upper Mantle

角田 史雄

agatsuma.terao@gmail.com

(矢野 孝雄 [訳])

熱エネルギーは地球の熱源から外核 (Gilles A. et al., 1998) に伝達され、上部マントル底の深度 500 ~ 700 km で発生するもっとも深い地震を引き起こす。これらの地震は、上部マントル底の岩層が熱くなり、膨張するときに発生する。伝達される熱エネルギー量が多いほど、最深地震のマグニチュードが大きくなる。地震のマグニチュードが1増えると、地震エネルギーは 32 倍になる。表1は、浅い地震のマグニチュード (図1A の点線グラフ, 米国地質調査所, 2019) と火山爆発指数 [VEI] (図1A の棒グラフ: 国立スミソニアン自然史博物館, 2019) の記録である。

筆者は、1985 ~ 2019 年の地震 M7.0 ~ 9.1 (表 1 : 米国地質調査所, 2019) と VEI 2 ~ 6 の噴火 (表 2 : 国立スミソニアン自然史博物館, 2019) をリストした。しかし、地震 M9.1 ~ 7.5 は、多すぎるためにはっきりと理解することは困難である。点を結ぶ点線は、地震のマグニチュードの変化の尺度を示す (図1A)。

噴火、ならびに地震の数と規模は、年ごとに変化する (図1)。ここでは、浅い火山性地震活動は VE1 ~ E16 に分類されている (図1A)。深部地震活動は、DE1 ~ DE16 のグループに分類できる (図1B)。同時活動は、DE グループから VE グループに適切かつスムーズに変換されている。したがって、これらは上部マ

ントル底部からの熱エネルギーの流れによって引き起こされる一連の活動であると考えられる。

このように、これらの上部マントルの熱活動は、図2に示す熱伝達システム (Tsunoda et al., 2013; Tsunoda et al., 2015; Choi et al., 2017) によって支持される。この熱伝達システムは、外核からの熱エネルギーが大きな SP ルートと多くの小さな LV ルートを介して伝達されることを示す。次に、熱エネルギーの流れは、矢印で示される伝達経路にしたがって、アセノスフェアに向かう (図2)。途中に地熱貯留層があると、地震活動が発生する可能性が生まれる。最終的な地熱貯留層は、巨大熱貯留層であるアセノスフェアと、小規模熱貯留層である中部地殻である。この熱伝達システムは、局所的条件によって決まる選択的領域で熱が放出されて終了する。

2001 年以来、最深部の地震活動 (図1B) と浅層での火山性地震活動 (図1A) が活発であったため、大量の熱エネルギーが上部マントルに供給されてきた。火山性地震活動は不活発で、地下熱エネルギーの消費は小さかった。基盤岩類の温度が大幅に上昇すると、2019 年後半 ~ 2020 年以降に大規模な噴火と大規模な浅発地震が発生する可能性がある。

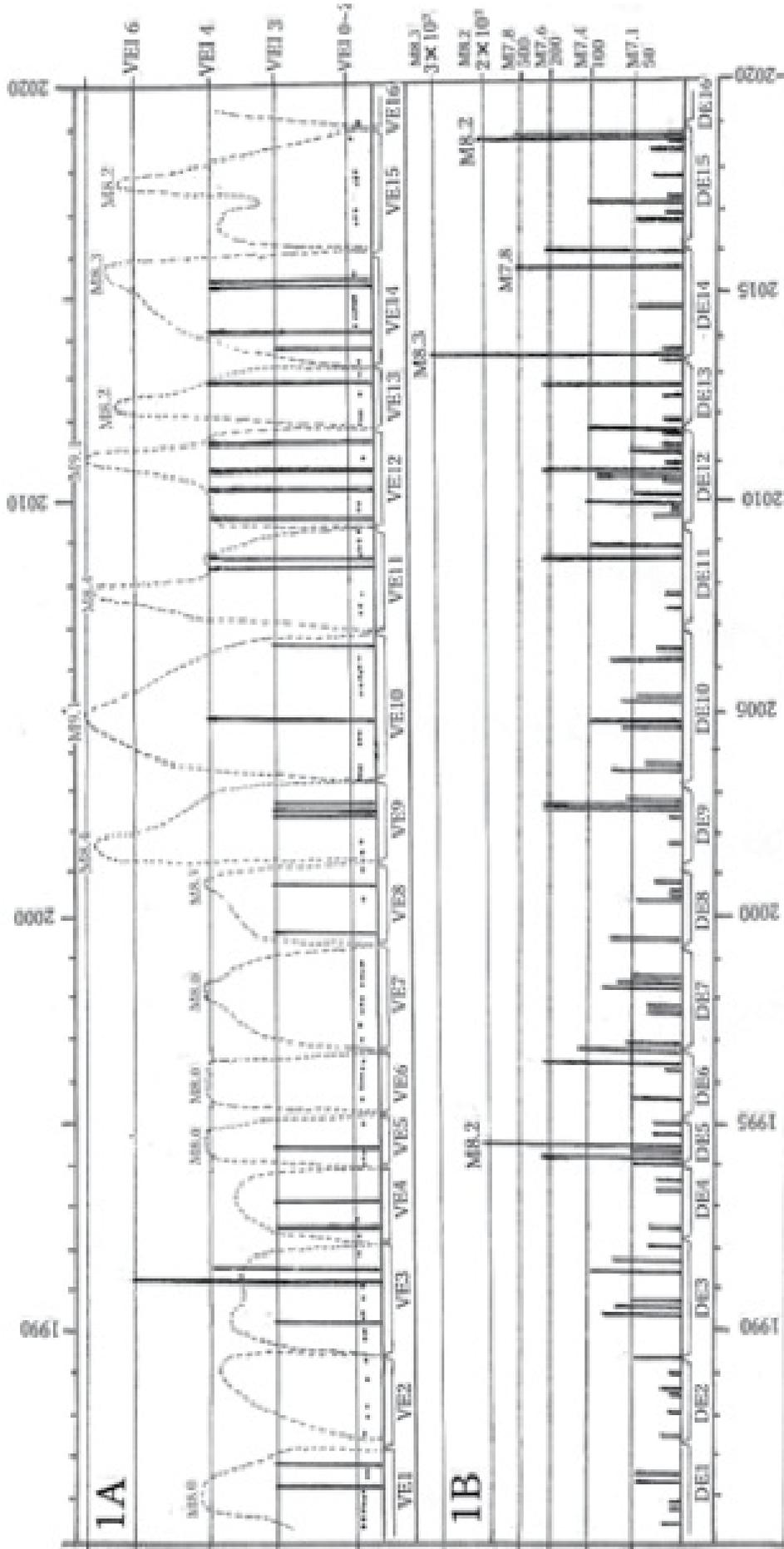


図1 上部マントル基底面における地震活動と地表における火山-地震活動の比較. 1A: 地表における火山-地震活動, 1B: 上部マントル基底面における地震活動.

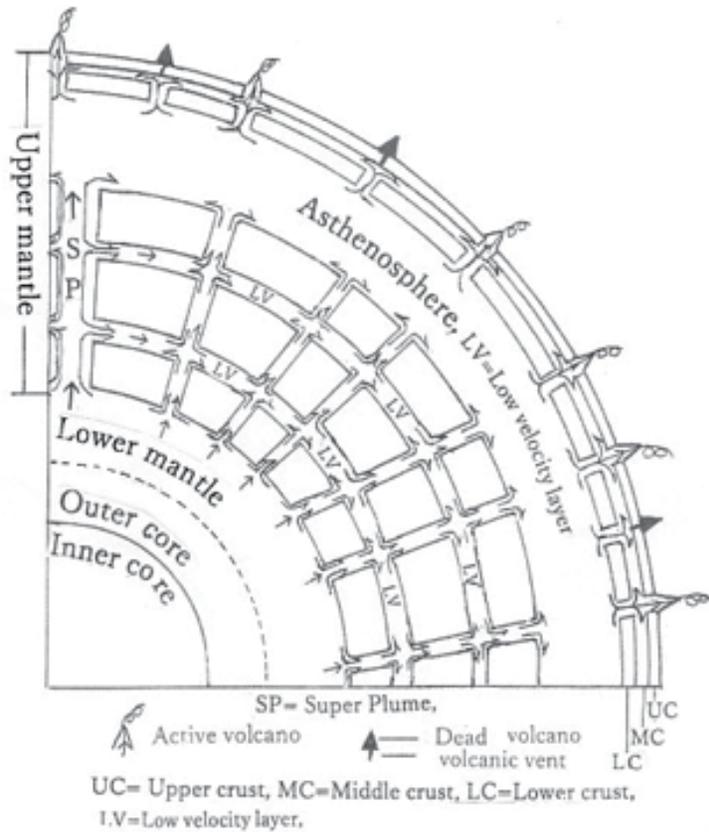


図2 上部マントルにおける熱エネルギー伝達モデル。SP:スーパープルーム, LV:低速度層。

表1 火山爆発指数の点数計算法 (Newhall and Steve, 1982, 抜粋)

<http://www.agu.org/pubs/crossref/1982/JC087iC02p01231.shtml>

VEI 2 (> 1,000,000m ³ , 爆発性)	— 1
VEI 3 (> 10,000,000m ³ , 重度)	— 10
VEI 4 (> 0.1km ³ , 激変)	— 100
VEI 5 (> 1km ³ , 発作性)	— 1000
VEI 6 (> 10km ³ , 巨大)	— 10000

表2 地震マグニチュードの点数計算法 (USGS 地震ハザードプログラム地震カタログで検索された1985~2019年に発生したM6.0~M9.5地震の積算)。

マグニチュードが1増えると、地震エネルギーは約32倍になる。これにもとづいて、点数が割り当てられた。

M6.0=1, ..., M6.5=6, M6.6=8, M6.7=12, M6.8=16, M6.9=24 ; M7.0=32, M7.1=48, M7.2=64, M7.3=94, M7.4=128, M7.5=192, M7.6=256, M7.7=384, M7.8=512, M7.9=768 ; M8.0=1024, M8.1=1536, M8.2=2048, M8.3=3072, M8.4=4096, M8.5=6144, M8.6=8192, M8.7=12288, M8.8=16384, M8.9=24576, ; M9.0=32768, M9.1=49152

謝辞 USGS 地震カタログとスミソニアン自然史博物館の噴火リストのデータ作成者に心から感謝します。執筆に援助をいただいた足立久男博士と Matt Willemsen 氏に心から感謝します。

文献

- Choi, D. R., Tsunoda, F. and Kawabe, T., 2019. Thermal structure of the Earth's mantle: Part 1. Pacific Ocean sector. *NCGT Journal*, v. 5, no. 4, December, 512-521.
- Gilles, A., de Wijs, Georg Kresse, Lidunka Vocadlo, David Dobson, Drio Alfe², Michael J. and Geoffrey D. Price., 1998. The viscosity of liquid iron at the physical conditions of the Earth's core. *Nature* 392, 805- 807.
- Newhall, C. and Steve, S., 1982. "The volcanic explosivity index (VEI): *Journal of Geophysical Research*, 87, (2), 1231-1238.
- Press, F. and Siever, R., 1982. *Earth*, 3rd ed., W.H. Freeman and Company, San Francisco, 613p.
- Smithsonian Institution National Museum of National History, 2019, Global Volcanism Program, Database Eruption, Category Confirmed Eruption, 1985~2019/08/11, Max. VEI 2~6. Volcano.si.edu/database/search_eruption_result.cfm
- Tsunoda, F., Choi D.R. and Kawabe, T., 2013, Thermal energy transmigration and fluctuation. *NCGT Journal*, v. 1, no. 2, p. 65-80.
- Tsunoda, F., Kawabe, T., Kubota, Y., Hayakawa, M. and Choi, R.D., 2015. Tendency of volcano-seismic activity developed in the central part of the Honshu Arc, Japan. *NCGT Journal* v. 3, no. 1, p. 34- 42.
- United States Geological Survey, 2019, Earthquake Hazards Program. Search Earthquake Catalog. Basic Options, Magnitude Deepest earthquake (M6.0~M8.5), Shallow earthquake (M7.0~M9.5), Date & Time 1985~2019, Worldwide.

原著論文 ARTICLES

ポー平野（イタリア）の炭化水素鉱床探査に用いられた微小重力変動と地震 Micro gravitational variations and earthquakes used for to search of hydrocarbon deposits in the Po Plain (Italy)

Valentino Straser¹, Mario Campion²

¹(International Earthquake and Volcano Prediction Center) ²(Retired, Italy)

(村山 敬真 [訳])

要旨：石油探査における問題の一つは、侵襲的なシステムで行われることが多い地下の調査方法に関するものである。本研究で議論されている方法は、現在はプロトタイプの状態だが8桁の精度を持つ重力計を使って調査を行うことを、実験的であるものの提案している。この調査のために実施されたのは、炭化水素の存在は確実であるが、その調査と抽出が禁止されているイタリア北東部の地域に関するモニタリングである。24時間365日体制で実施されているこのモニタリングシステムは、重力計から数千キロ離れた震源の地震でも引き起こされる、局所的な微小重力を測定することから成る。この仮説は、地震によって発生した波が、弾性場の自然の「バックグラウンドノイズ」とともに共鳴現象することや地球の自由振動を考慮することで成り立っている。この仮説では、重力の微小変動は、次のようなメカニズムで発生すると考えられる。(a) チャンバーやタンクの充填と排出。(b) 密度の異なる混ざらない液体、例えば水と炭化水素の混合。(c) 液体-気液-液体の状態変化と、その結果としての液体部分と気体部分の空間的再配置。これらの現象はすべて、地震波の通過に伴う圧力、温度、機械的な揺れの変化に起因する可能性がある。微小重力加速度変化のシミュレーションデータと重力計で測定された加速度変化は、互いに匹敵するものであった。

キーワード：微小重力変動、地震、三角波、位相変化、カンピオンの重力計

序章

炭化水素鉱床の探索は、現代社会と経済の重要な要素である。炭化水素の探索は一世紀以上も前から世界中で調査の対象となっている。現在イタリアでは、エネルギー需要のほぼ3分の1をガスが占めており、過去数十年間に重要な役割を果たしてきた天然ガス資源を有している (Mattavelli and Novelli 1988)。同じ油田から「関連する」天然ガスが抽出される。これは、油田の被覆層を構成する油に溶解したものである。イタリアでの石油探査は、19世紀後半以降のアメリカの先駆的な石油探査を踏襲している。イタリアでの開発は、ポー渓谷の端に位置するヴァレッツァやサルソマッジョーレ・テルメ (北イタリア) のような小規模な鉱床で行われていた (Pieri 1992)。調査地域では、近年の炭化水素鉱床の調査・開発により、地下深部の探査のための研究や地質学的解釈が促されている (Pieri e Groppi 1975-1981)。ポー渓谷 (北イタリア) では、現在210の天然ガスと1つの油井が開発されており、ヴァレッツァとサルソマッジョーレ・テルメの両方が開発されている。ポー平野の貯留層は鮮新世から始まった地質学的な歴史の結果であり、衝上断層の活性化をとれない、その後更新世中期に大きく変化した (Pieri and Flores 1996, Castellarin 2001)。調査地域では、炭化水素の自然放出はアペニン山脈の軸と主要な断層線に沿って発生しており、これらのガスは微生物由来の発熱性ガスである (Cantini et al. 2004; Mattavelli et al. 1983)。調査地域では、炭化水素の自然放出はアペニ

ン山脈の軸と主要な断層線に沿って発生しており、これらのガスは微生物由来の熱発生ガスである (Cantini et al. 2004; Mattavelli et al. 1983)。本研究の研究地域は、重力計が設置されているロビゴ地域であり、地下の炭化水素の存在が確認された場所にある。しかし、ポレジーネ下流地域でもフェラーラ下流地域でも炭化水素の探索は禁止されている。その理由は、1950年から始まり、特に1951年から1962年にかけてのメタン水の抽出による影響で、1メートル以上、場合によっては2メートル以上の地盤沈下を引き起こし、アドリア海侵入の危険性もあったことにある。しかし、この調査領域は、重力データを記録し、微小重力変動の反復性を検証することが可能であるため、炭化水素貯留層研究の実験やシミュレーションに適している。この実験を行うために、物理学者のマリオ・カンピオンは、10進数の8桁目まで正確な特殊な重力計を作成した。この重力計は2009年の初めから稼働しており、24時間365日稼働している。これは、現在はプロトタイプの状態にある振り子型重力計だが、非常に正確で、標準偏差1.47である。この実験では、微小重力の変化についてのデータを収集することで、ローカルスケールとグローバルスケールの両方で発生する地震に関連して。観測された微小重力の変動は20～50mGalのオーダーである。

本研究で提唱される仮説は、この微小重力の変動を、地震波の通過に伴う物質の再配置として解釈することにある。液体-気体-液体の状態変化とその結果としての貯留槽内の液体部分と気体部分の空間的な再配

置を想定した。機器データと数値シミュレーションの互換性があることから、現在の非侵襲的手法を用いて実験を行うことを目的とした更なる研究が奨励される。コストが低く、小規模の研究チームで潜在的炭化水素鉱床の調査を実施するのに十分であり、莫大な資金や専門家を必要とする侵襲的な手法を回避する。

機器

局所重力データは、イタリアのロヴィーゴ市で記録された。座標は、緯度 +45.07N および経度 -11.778 E である (図 1)。カンピオン博士によって作成された装置は測定面で有利であり、基本的に、その機能が高度な技術で最適化されている場合、単純な振り子の可能性を最大化する重力計を指す。PC と接続されたこの装置は、定義された時間間隔で平均重力値を測定する。1,000 回、100 回、10 回の振動を実行するのに必要な時間を発振器が 24 時間にわたって正確に計る。

方法

データ収集方法として、重力計でリアルタイムに検出された微小重力変動と、地震によって発生する地震波の組み合わせを使用する。解析した地震は近い震源のものだけでなく、観測所から遠く離れた場所で発生した一般的にマグニチュード 6 以上の地震が対象となる。

三角波と微小重力

本研究で発表された三角パルス波は、マリオ・カンピオン博士が作成した微小重力装置の測定の特徴を表している。しかし、技術的な限界や地球に作用する様々な外乱のために、リアルタイムの微小重力測定は不可能であることに注意が必要である。測定を実施するためには、微小重力の変化を評価するためのインターバルを考える必要があり、リアルタイムの測定ではない。本研究の場合、選択されたインターバルは 3 分であ

た。選択した間隔での「微小重力の変動」の測定結果は、わずかな変動のためにリアルタイムでの評価が困難であるため、三角形の傾向を呈している。「カンピオン」重力計によって示されているのは、3 分間隔にもかかわらず、波の現象を帯びていることである。この傾向は、最初の動揺と反対方向への「戻り反応」によって特徴づけられる。すなわち、微小重力の増加とその後の減少、またはその逆である。まれに、そして天体の影響の場合にのみ、微小重力動揺の「ほぼ」規則的な、等周期の変化を考慮することができる。ただし、この研究の文脈では、Fleish and Kinnaman (2016) によって報告された波の用語は、「自分自身を支え、エネルギーを運びながら空間を移動する媒体の動揺の伝播」として理解されている。

議論

重力計のデータは三角形のパルス波形である。グラフは互いに非常に異なっており、20-30 ミリガルの微小重力の変化に対応するピーク振幅を持っている。変動は、たとえそれがかなりの距離で発生したとしても、特定の強度の地震イベントで発生する。微小重力の変化は、“g” の値に対して増加と減少の両方で起こる (Straser and Campion, 2017a, 2017b, 2018, 2019)。

通常、測定値には背景周波数を形成する波のグループまたは波のパケットが示され、よりまれには、異なる波形の等しい周期が示される。これらは長い周期の振動 (約 10 分) であり、地震の典型的な最初の P 波や次の S 波とは大きく異なり、したがって振動振り子でのみ検出可能であるが、地震計のような定常振り子では検出できない。使用した装置は、10 分周期を無視することなく、低周波をとらえることができる分析能力を備えている。この重力計には、激しい雨や一貫した突風などの、地面の振動を引き起こす可能性のある大気の乱れを測定できる感度もある。このような地盤振動の周期は約 20 分で、地震計は慣性力の影響を受けて静止



図 1. 位置図。円は、実験用重力計が配置されているロビゴの位置を示している。

している振り子で構成されているため、周波数が低すぎて感知することができない。一方、振動運動を備えた重力計は、反射によって重力脈動を発生させるこれらの振動を測定することができる。この特徴は、他の場合にも、10分に近い周期で地表が弾性的に振動する地震でも確認された。地震や内因性活動に関連した現象のような、誘発された動揺の応力下での地表面の「波状の」挙動を記述できる周波数の探索は、Caputo e Piva (1970) によって行われ、Okal (1981) によって議論された。Caputo e Piva (1970) による研究には、とても長い周期を可能にする地面の自由振動の測定のいくつかの事例が含まれている。それは、チリとアラスカで強い地震イベント中に観測され、主な振動周期は約10分である。テスト関数の周波数として、背景周波数の値を10分付近の振動の周期と仮定すると、少なくとも2つのケースが考えられる。1つ目は、背景周波数を検査する関数の半分とする場合で、この場合、積分は小さな値を生成する。同様に、背景周波数が分析すべき周波数成分に対応していない場合も考えられる。その代わりに、背景周波数が検査対象の関数に存在する周波数に対応している場合、大きな値が生成される。

グラフのタイプは様々な形のものであり、三角形のパルスで進む。外乱がない場合、重量トレンドは、潮汐に沿っており、近くのヴェネチツィア・ラグーンの周期性と比較される。

グラフの毎日の分析から、太陰月の間に2つの重要な瞬間があると推測する。1つは新月に近く（一般により顕著）、もう1つは満月に近く、重力計によって記録された重力の傾向がイタリアのアドリア海の潮汐予測と一致する。

図2は新月前日の2011年2月2日の重力傾向を示す。

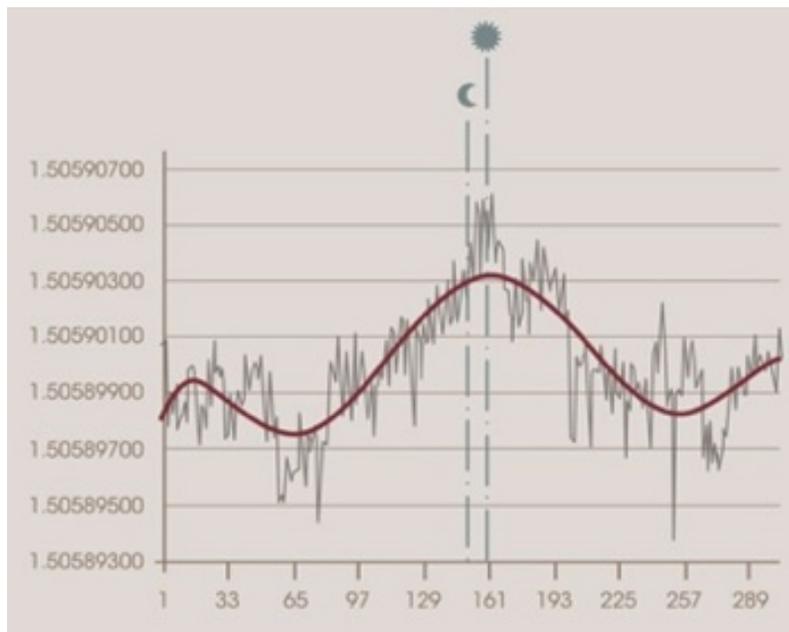


図2. 2011年2月2日のロビゴ(イタリア)における重力の傾向。横軸は測定間隔の数、縦軸は振動子の値。

平均測定データの傾向曲線(黒いマーカー)は、アドリア海の潮汐の傾向を反映しており、子午線上の太陽と月の通過に対応する最大値を示している。

この傾向を他の重力計で測定された潮汐力のグラフと比較すると、このタイプの重力計によって強調される潮汐力の増幅が示される: グラフから出てくる潮汐の最大値と最小値の間の変動は、550万分の1gである。

地震波と重力の変動のそれぞれの相互作用は、他の著者によってすでに研究されているが、本研究で用いた方法とは大きく異なる(Rozhnoi et al. 2007, Li et al. 2016, Roecker et al. 2004)。本研究では、実際に、震源が数千kmも離れた場所にある強い地震と300km以内にある地震の両方で、微小重力の三角パルスグラフのいくつかのタイプを観測している(Straser 2010)。

この種のグラフの特徴は、グラフの頂点が右に傾いているという対称性を持っていることである。このグラフでは、変位の発生から最大点までの時間間隔と、この最後の点と負のピークの間隔を大事にしており、これもまた右に傾いている。

重力の変化傾向の変動は定期的に発生している。衝撃に対応した重力の増加を示すグラフは、ロシアで発生したマグニチュード M7.3 の地震を例にしている(図3)。

例として、日本で起きたような非常に遠方の地震と、イタリアで起きたようなエネルギーがかなり低い地震を考えてみよう。最初のケースは、2011年3月11日に発生した日本の地震である(図4)。

日本の壊滅的な地震のとき、重力計は重要な解釈に開かれている低周波信号でイベントを記録した。ユニットは、10振動で10回測定で動作しており、したがって、

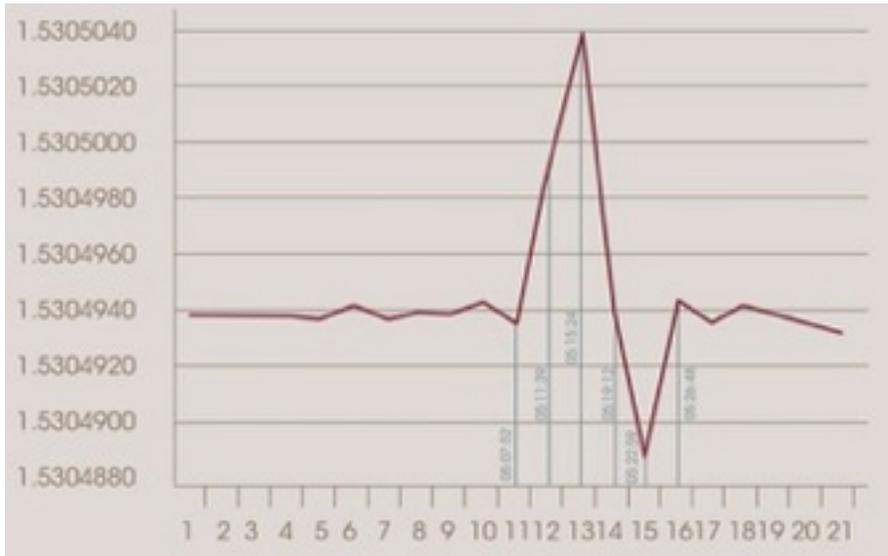


図3. 2012年8月14日にロシアで発生したマグニチュード M7.3 の地震と重力の変化傾向が一致するなど、重力の変化傾向は一定の間隔で変化している。横軸は測定間隔の数、縦軸は振動子で検出した周期の値。

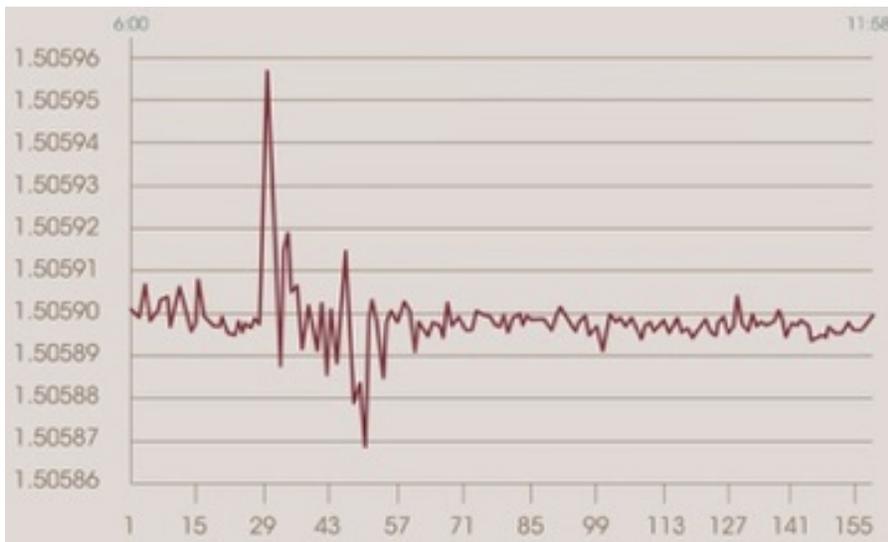


図4. 2011年3月11日に発生した日本の地震時の重力の推移。横軸は測定間隔の数、縦軸は振動子で検出した周期の値。

135 秒間隔に挿入された 15 秒の重力の平均値を得ていた。従って、イベントの分析は詳細であった。つまり、毎日全部で 650 回の測定が行われた。グラフは 6 時間分の示度が表され、午前 6 時から 12 時の前の 2 分までの連続記録を持って、イベントを完全にとらえた。グラフ上のピークは、約 55 マイクロ秒の値を持っているが、それは 15 秒間の平均値であることはわかっており、計器がその最大値でそれを記録できるかどうかはわからない。同イベントは、時間で拡大すると、横軸上の 19 の測定間隔の合計になる。この現象は、g の 4000 万分の 1 の重力の減少を示し、半波のみで減衰していることがわかる。全体の波が約 13 分で、地震波に相当しない周波数で続いたと考えられるので、重力性の現象と考えることができる。INGV からのデータは、衝撃がイタリア時間の 6 時 46 分 24 秒に発生したと報告しているが、拡大されたグラフは、それが 7 時 5 分 00 秒に 1241 秒の遅延で重力計によって検出されたことを示している。約 7km/ 秒の速度で伝播している。

重要な詳細は重力変動の対称性で、そのピークに対する場合と、定期的が発生する重力の変動を示す後の調査との両方である。この最後の特徴は、確かに新し

い疑問をもたらす。重力測定の変化の規則性をもつ日本の地震と同様の傾向は、2009 年 4 月 6 日のイタリアのラクイラ地震でも見られた (図 5)。エネルギーの違いはあるものの、子の地震でも重力の値のピークに時間的な対称性が見られた。

計 算

貯留層内の地震波の通過が、貯留層内の相変化と揺れの乱れを引き起こし、それに伴い微小重力が変動するという仮説のもとでは、次の原因が考えられる。

- (a) チャンバーやタンクを充填したり空にしたりすること
- (b) 密度の異なる混和性のない液体、例えば、水及び炭化水素の混合
- (c) 液 - 気 - 液の状態変化と、その結果として生じる液体部分と気体部分の空間再配置

この点について、石油 1 バレルの平均質量などの定数と炭化水素貯留層の大きさなどの変数を考慮した数値シミュレーションを行い、重力加速度の相対的な変動を評価した。この場合は $4,8002E-09$ 。得られた値は、以下の例で報告されている異なる状況と比較した。

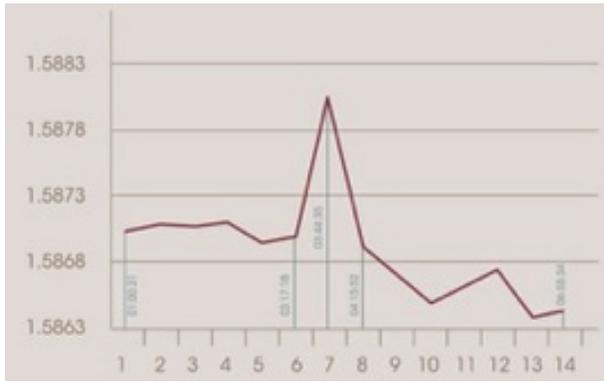


図5. 2009年4月6日に発生したイタリアのラクイラ地震における重力測定値の変化のピークの時間対称性. 横軸は測定間隔の数, 縦軸は振動子で検出した周期の値.

変数としてとられているもの:

重力計からの平均距離～深度	3000m
炭化水素貯留槽の大きさ	1000000000 バレル
貯留槽内の変位 (平均)	100m

定数としてとられているもの:

石油 1 バレルの質量 (平均)	140kg
重力加速度 (およその平均)	9.8m/s ²
重力定数 (G)	6.67 E -11m ³ /(kg*s ²)
油田の質量	1E+11kg

重力計からの平均距離:

・ 通常時	3000m
・ 変位時	3100m

重力計上の貯留槽の重力加速度:

・ 通常時	7.4111E-07m/s ²
・ 変位時	6.9407E-07m/s ²
・ 差	4.7042E-08m/s ²

重力加速度の相対変動 4.8002E-09

ケース1. 定数値は, 貯留層サイズ (バレル) を 1E+09, 平均変位 (メートル) を 100m とした.

数値シミュレーション結果

重力計からの平均距離, 深さ (m)	1000	1500	2000	2500	3000
重力加速度の相対変動	1,1812E-07	3,663E-08	1,5819E-08		
	8,2157E-09	4,8002E-09			

ケース2. 定数値は, フィールドサイズ (バレル) 1E+09, 貯留層の平均深さ (メートル) 3000m

数値シミュレーション結果

移動量 (平均) メートル	10	20	40	60	100
重力加速度の相対変動	5,0165E-11	1,9966E-10	7,908E-10		
	1,7619E-09	4,8002E-09			

ケース3. 定数は平均変位 (メートル) 100m, 重力計からの平均深さ (メートル) 3000m

数値シミュレーションの結果

貯留槽のサイズ (バレル)

5E+08 7E+08 9E+08 1E+09 1E+10

重力加速度の相対変動

2,4001E-09 3,3602E-09 4,3202E-09
4,8002E-09 4,80025E-08

結 論

このデータ収集により, 微小重力の三角パルス波形を増加と減少の両方で解析することができた. 微小重力変動の出現は, 「地震 - 微小重力の変動」という一対一の対応関係に常に対応しているとは限らない. 日本で発生した強い地震の場合など, 分析された多くの地震では, この機器が地震波ではなく重力異常を測定していることは明らかである. したがって, 地震と明示的にリンクしていない「間接的」なメカニズムが作用しなければならないと結論づけた. ただし, 半径 100 km 以内に記録された強い地震は例外である. 近くで強い地震が発生した場合には, おそらく地盤の振動が原因で, 測定器が過負荷になったのであろう. 調査地域の地下に炭化水素が存在することが確認されたことから, 微小重力の変化と貯留層との間に相互作用が存在するのではないかとこの仮説を立てることができた. 微小重力の変動は, 数値シミュレーションでは, 地震による振動との相互作用や, 地震の静穏期の液相気相の相変化, あるいは炭化水素の移動によるものであると考えられてきた. しかし, 本論文で議論した数値シミュレーションでは, 重力計のデータと実際のケースとの間には一貫性があることが示された. 本研究で提案されたメカニズムの妥当性を検証できるのは学際的な研究のみであるため, これらは暫定的な結論である. もしそうであれば, 将来的に炭化水素の非侵襲的な調査にこの手法が使われる可能性がある. むしろ, 他の天体の地球システムへの作用など, 微小重力の変動に作用する地球物理学的現象を調査する必要があるだろう.

謝辞 アレッサンドロフェラーリ博士, パオロヴェスコヴィ教授, セルジオラフィ教授のこの研究を継続するための支援と絶え間ない励ましに感謝する.

文 献

- Bertotti G., Capozzi R., Picotti V, 1997. Extension controls Quaternary tectonics, geomorphology, and sedimentation of the N□Apennines foothills and adjacent Po plain (Italy). *Tectonophysics* vol. 282, p.291- 301.
- Cantini P., Pinna G., Pinna E., 2004. Utilization of gravimetric data to identify hydrocarbon fields in the Po Plain. *GNGTS Atti 23° Convegno Nazionale/ 15.02*
- Caputo M., Piva A., 1970. Non linear parameters of elastic fields and Earth's free modes. 347-362 <https://www.annalsofgeophysics.eu/index.php/annals/article/>

- viewFile/5146/5215
- Castellarin A., 2001. Alps-Apennines and Po Plain-Frontal Apennines. Relationships. In: G.B. Vai e I.P. Martini (Eds.), *Anatomy of an Orogen: Northern Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht p. 177-197.
- Fleisch D. and Kinnaman L., 2016. Guida allo studio delle onde. Editori Riuniti – University press. 230 p.
- Li J., Chen J. L., Wilson C. R., 2016. Topographic effects on coseismic gravity change for the 2011 Tohoku-Oki earthquake and comparison with GRACE, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 121(7), p.5509– 5537
- Okal E. A., 1981. On the importance of changes in the gravity field on seismic recording at ultralongperiods, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 78, p. 20-21.
- Mattavelli L., Ricchiuto T., Grignani D., Scholl M., 1983. Geochemistry and Habitat of Natural gases in Po Basin, Northern Italy, *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.* Vol. 67(12), p. 2239-2254.
- Mattavelli L., Novelli L., 1988. Geochemistry and habitat of natural gases in Italy, in: Mattavelli L., Novelli L. (editors) *Advances in organic geochemistry*, Oxford, Pergamon Press vol.2(1), p.1-13.
- Pieri M., Groppi G., 1975. The structure of the Pliocene-Quaternary sequence in the subsurface of the Po and Veneto Plains, the pedeapenninic Basin and the Adriatic Sea. *Quad. Ric. Scient.* Vol. 90, p.409-415.
- Pieri M., Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy. *Prog. Finalizzato Geodinamica C.N.R.*, Publ. 414.
- Pieri M. (1992) Cortemaggiore Field– Italy, Po Plain, Northern Apennines. In: N.H. Foster and E.A. Beaumont, (Eds.), *Treatise of Petroleum Geology, Atlas of Oil and Gas Fields, Structural Traps VII*: Tulsa, OK, American Association of Petroleum Geologists, p. 99-118.
- Pieri M., Flores G., 1996. Italy to open Po valley to competitive exploration. *Oil and Gas Journal* vol. 94(11), p. 99-102.
- Roecker S. W., Thurber C., McPhee D., 2004. Joint inversion of gravity and arrival time data from Parkfield New constraints on structure and hypocenter locations near the SAFOD drill site, *Geophys. Res. Lett.*, n.31, L12S04
- Rozhnoi A., Solovieva M., Molchanov O., Biagi P.F., Hayakawa M., 2007. Observation evidences of atmospheric Gravity Waves induced by seismic activity from analysis of subionospheric LF signal spectra, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 7, p. 625–628.
- Speranza F., Chiappini M., 2002. Thick-skinned tectonics in the external Apennines, Italy: New evidence from magnetic anomaly analysis. *Journal of Geophysical Research*, 107, B11, 2002, 2290, doi:10.1029/2000JB000027
- Straser V., 2010. Variations in gravitational field, tidal force, electromagnetic waves and earthquakes. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter* vol. 57, p. 98-108.
- Straser V., Campion M. (2017 a) Solar and Lunar eclipses in Northern Italy and variations in micro gravity: a possible Allais Effect? *International Journal of Engineering Science Invention* vol. 6(8), p. 27-32.
- Straser V., Campion M. (2017b) A Possible Relationship between Gravitational Variations and Earthquakes in Central Italy. *International Journal of Engineering Science Invention*, vol. 6(3), p.71-76.
- Straser V., Campion M., 2019. Gravity Changes, Earthquakes and Oil Field (Italy). *Springer Nature. Advances in Petroleum Engineering and Petroleum Geochemistry, Advances in Science* p.87-89.

2019年6～7月の最大マグニチュード Mw3.9 の VERZEGNIS* (Udine 州, イタリア) 群発地震に関係した EFL 周波数帯における電磁気信号
ELECTROMAGNETIC SIGNALS IN ELF BAND RELATED TO THE SEISMIC SEQUENCE OF VERZEGNIS* (UDINE – ITALY) IN JUNE – JULY, 2019 - MAGNITUDE MAX. EQUAL TO 3.9 Mw

Riccardo Rossi

Friuli Experimental Seismic Network – Pozzuolo del Friuli – Udine (Italy) (www.fesn.org)
 Associazione Radioamatori Italiani (www.ari.it)

(小泉 潔 [訳])

*VERZEGNIS: Verzegnis (Carnian Friulian: Verzegnas) is a comune (municipality) in the Province of Udine in the Italian region Friuli-Venezia Giulia, located about 100 kilometres (62 mi) northwest of Trieste and about 40 kilometres (25 mi) northwest of Udine. (Wikipedia)

要旨: アマチュア無線で受信した無線信号に始まり, 研究機関のみでなくアマチュアもまた電磁気スペクトルの特定の周波数の監視に到るまで, 多数の異なる様式で検出された電磁気信号が示す地震の先行現象の証拠は数多くある. 本論は, 2019年6月16日から7月7日の間に発生した Udine 州 (イタリア) の Tolmezzo-Verzegnise-Venzone 地域で発生した一連の地震 (最大リヒターマグニチュード 3.9) に関連する Udine 州の Trasaghis に開設された監視局から ELF 周波数帯で検出された異常な電磁気信号に関係している.

監視局は, 最初の異常信号を 18 日に検出し, 主震の 3 日前に再び検出した. その後信号はさらに継続し, おそらくその後の地震により証明されたように, 引張状態が継続していることを示している.

検出された信号は, 1 ~ 10Hz の周波数帯に位置し, 標準的な地震監視局に設置された非常に高いインダクタンスのアンテナによって検出された. イタリア中央部における 2016 ~ 2017 年の地震を通じて, Pasion di Prato(UD) のツイン監視局によって検出された他の信号との類似性が重要な意味がある.

したがって, 予防と市民保護の目的で, 重要な地震によりすでに影響を受けている地域の地震応力の状態を検出するために, 移動局を使用することが提案されている.

キーワード: 地震予知, 電磁気力, 電離層

議 論

地震の前兆現象の研究には歴史的なルーツがあり, 関連する地震が活性化する地域・強度および時期を予測できる十分に正確な結果を得ることが難しいにもかかわらず, この研究は今後おそらく, 予防および市民保護の目的に使用しうる若干の対応を提供できることで有望な結果を推進する.

相当規模の地震に先立って, またその後に関係して記録された電磁気信号もまた, アマチュア無線によって検出されてきた.

特に 1 つの現象が, パルマ大学の Enzo Mognaschi 教授による研究の対象となっている. 彼は, 1997 年 5 月 12 日のイタリアの Massa Martana(PG) に震源のあるリヒターマグニチュード 4.7 の地震の前に観測された背景電磁気ノイズの異常な変化を観測したアマチュア無線家 Marco Eleuteri di Todi 氏 (PG) により得られた情報に始まる現象を解析した. その後同じ年の 9 月 26 日に Annifo(PG) に震源のあるより破壊的な 6.0 の地震が続いた.

前世紀の 90 年代には, 前兆信号を検出するための研究が多数あり, この期間中に科学者はこれらの信号を研究することで大地震を防げると確信した. しかし, 多くの試みにもかかわらず, すべての地震が前兆信号を伴うわけではないこと, またはこれらは場所ごとに変化する可能性のあるさまざまな物理的条件に依存するため, 常に検出できるとは限らないことが示されていった. これは, 地震予知のために, これらの現象を体系的に使用する可能性に挑戦してきている. しかし, 近年, 一部の研究者は, 重要な地震の予知に有効と思われるより多くのデータを見つけることができることを期待して, 新しい技術で現象を研究し始めた.

前兆信号は, 一般に, 通常の地震に先行するダイラタンシー現象により誘発される. 信号は異なり, Cicerone et al.(2009) によってリストアップされている.

アルゴンガス, 特にラドンガスの濃度変化のように, これらの現象のいくつかはより頻繁に研究されてきている (Biagi et al. 2004)(Riggio and Santulin 2015).

また, 最近の研究では, 太陽起源の磁気嵐がすでに応力にさらされている地域で地震の引き金となりうる可能性が分析されてきている (Casey and Choi 2017).

岩石が電磁波の形でエネルギーを放出する能力は, 数名の研究者によって実験室で検証されてきている (Frid et al. 2000)(Nardi 2009). その電気的特性も分析されてきており, これらは温度・電圧・周波数・化学的特性に厳密に対応していることがわかっている (Engler 2011)(Olhoeft 1981).

地震を予知するために電磁気信号を利用する可能性は, 地上の機器を使い, 他の多くの研究者の研究対象であった (Minadakis et al. 2011)(Lacidogna et al. 2011)(Manno 2003)(Mavrodiev and Thanassoulas 2001). 特に, Gershenson and Bambakidis(2001) は, 電磁気地震信号の特性評価に関するモデルを提案した.

関連する地震の発生を予知するために, 土壌電場 (Thanassoulas 2007) も研究されてきている. Thanassoulas et al. (2008) は, 月の朝夕によるリソスフェアの応力の増加に対応して, そのような信号が発生する可能性があることを示した. また, リソスフェアの内部領域から枝分かれした荷電粒子が地表に到達し, 電離層まで上昇することが確認されている (Aleksandrin et al. 2003).

多くの研究者が, 電磁気信号と関連する地震との相関を研究している (Parrot 1990)(Fidani 2012)(Cataldi et al. 2017)(Molchanov et al. 2003)(Ida et al. 2008)(Eftaxias et al. 2000). Petraki et al. (2015) はそれら以前に記録された電磁気信号に関連する長期間の地震をリストアップしている.

リソスフェア内の電磁波の経路も研究されてきている (Petraki et al. 2015).

さらに, Sujay Pal(2015) が示しているように, リソスフェア内に通り道が作られる可能性があることも除外されていない. Barr et al. (2000) は VLF と ELF 波の伝播を解析した.

一部の研究者は, 背景ノイズの障害を受ける地域に位置する監視局でさえも, 関連する地震の震源を特定するために, 電磁気信号の発生方向を見つける可能性を検証してきた (Tutsui 2005)(Straser et al. 2018)(Ohta et al. 2011).

Winda Astuti(2014-2013) は, Thanassoulas により開発された方法を使用して, 地球の双極子により捕捉された大地の電気信号を分析することにより, 震源位置を導き出す可能性を扱っている.

一方, 他の研究者は, 軌道上の衛星から受信した関連する地震の発生前に記録された異常信号を研究してきた (Zhang et al. 2012).

地震応力を受けている地域に対応して電離層の状態の変化を, 衛星が捕捉できることを検証することができた (Parrot 1990)(Henderson et al. 1993)(Kelley 2017) (Bhattacharya and Gwal 2007)(He and Heki 2018) (Pulinets 2004).

最近, He and Heki(2017) は, GPS 衛星によって検出された電離層の状態の変化を解析し, それらの異常を, その後の強い地震の発生させた地震応力を受けた特定の領域に関連付けた.

衛星探査によっても, 地震の前に陽子流束の変動が検出された (Cataldi et al. 2017).

イタリアでの経験に由来するさまざまな方法論を持つアマチュアによる電磁気地震前兆の研究は, 数年前から活発に行われてきた.

とりわけ: Renato Romero(www.vlf.it), Adriano Nardi(INGV), Cristiano Fidani(CIEN)(Fidani 2017), Violi Roberto(Giano Network <https://retegiano.jimdo.com>) 及び筆者自身 (FESN www.fesn.org - ARI www.ari.it).

地震シーケンス

本研究の地震シーケンスオブジェクトは, 2019 年 6 月 16 日から 7 月 7 日の期間に, Udine 州の Tolmezzo, Verzegnis, Venzona, Resiutta および Osoppo の自治体間で発生した.

到達した最大マグニチュードは, リヒターマグニチュー

ド 3.9 だった.

最も重要な地震は Verzegnis 市で発生したことに注目するべきである.

Udine 地震センター (www.rts.crs.inogs.it) は, Trasaghis 監視局から半径約 20km 以内でマグニチュード 0.1 ~ 3.9 の合計 51 の地震を検出した. 最も関連性が高かったのは約 14km 離れていた.

地震シーケンスは, 対象地域の断層中に広範囲に及ぶ応力の状態を示しているように見える. おそらく, 2019 年 6 月 14 日世界時 13 時 .57 分に発生した, リヒターマグニチュード 3.9 の Verzegnis 市で発生した最初の地震の結果である.

主震

主震は 2019 年 6 月 14 日世界時 13 時 57 分に発生した. 国立地球物理及び火山研究所 (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia) が率いる Udine 地震研究所 (Centro Ricerche Sismologiche di Udine) により計算されたモーメントマグニチュードは, Mw3.9 であった.

Cavazzo Carnico 地域から数 km 離れたところで起きたリヒターマグニチュード 0.6 の小さな地震が主震発生の前に起きていた.

Mw3.9 の地震の後, 2019 年 7 月 16 日までに, マグニチュード Mw0.1 ~ 3.4 の 49 の地震が続いた.

監視局の特徴

監視局の構築は, 異なる研究者間で, 経験とスキルを共有した結果である.

監視局の第一の構成要素は, 非常に高いインダクタンスのアンテナである. このデバイスは, 直径 50mm のファイバーグラスのリールで作られたそれぞれ約 17,000 回巻きコイルに巻かれている直径 0.20mm の絶縁した銅線を約 100,000 回巻き付けたものよりなる.

これらのコイルは, 順繰りに軟鉄棒で満たされたプレキシガラス管に挿入されている.

コイルは最終的に, 寄生性の電場のスクリーンとして機能するアルミ箔に輪状にくるまれている. HDPE(高密度ポリエチレン)製の外部管が, 構造全体を保護している.

アンテナは垂直に配置されている.

使用される増幅およびフィルター回路は, 地震センサー(例: ジョフォン)の接続に適しており, 地震探査機

Sequenza sismica compresa tra il 14 giugno e il 16 luglio 2019 nella zona di Verzegnis - Tolmezzo - Venzone

Fonte: OGS - Centro ismologico Udinese - [www.http://rts.crs.inogs.it](http://rts.crs.inogs.it)

N.	Event id	Date	Lat	Lon	Mag	Location
1	122871	14/06/2019 10:55	46,3575	13,0253	0.6	2 km SO di Cavazzo Carnico (Udine)
2	122875	14/06/2019 13:57	46,3910	12,9860	3.9	1 km NO di Verzegnis (Udine)
3	122883	14/06/2019 14:01	46,3928	12,9865	1.1	1 km NO di Verzegnis (Udine)
4	122884	14/06/2019 14:06	46,3910	12,9955	1.5	0 km NE di Verzegnis (Udine)
5	122886	14/06/2019 14:08	46,3880	13,0083	0.3	1 km E di Verzegnis (Udine)
6	123173	14/06/2019 14:16	46,3955	12,9920	0.3	1 km N di Verzegnis (Udine)
7	123175	14/06/2019 14:26	46,3970	12,9803	0.4	1 km NO di Verzegnis (Udine)
8	122888	14/06/2019 14:33	46,3945	12,9927	0.5	1 km N di Verzegnis (Udine)
9	122889	14/06/2019 15:40	46,3923	12,9970	0.4	1 km NE di Verzegnis (Udine)
10	122890	14/06/2019 16:13	46,3932	12,9917	2.0	1 km N di Verzegnis (Udine)
11	122895	14/06/2019 19:09	46,3937	12,9973	1.0	1 km NE di Verzegnis (Udine)
12	122898	14/06/2019 19:14	46,3932	12,9900	0.8	1 km NNO di Verzegnis (Udine)
13	123177	14/06/2019 19:32	46,3152	13,2602	0.5	6 km N di Lusevera (Udine)
14	122906	14/06/2019 22:07	46,3942	13,0003	1.7	1 km NE di Verzegnis (Udine)
15	123179	15/06/2019 01:48	46,3420	13,1302	0.4	1 km NO di Venzone (Udine)
16	123180	15/06/2019 02:10	46,3357	13,1215	0.3	1 km O di Venzone (Udine)
17	122914	15/06/2019 03:15	46,3883	13,0028	0.5	1 km E di Verzegnis (Udine)
18	122915	15/06/2019 03:44	46,3442	13,1320	0.5	1 km NNO di Venzone (Udine)
19	122916	15/06/2019 03:58	46,4545	12,9360	0.1	3 km N di Lauco (Udine)
20	122917	15/06/2019 04:12	46,4013	12,9923	3.4	1 km N di Verzegnis (Udine)
21	123181	15/06/2019 05:06	46,3480	13,1443	0.4	2 km NNE di Venzone (Udine)
22	123183	15/06/2019 07:18	46,3733	13,0242	0.4	1 km ONO di Cavazzo Carnico (Udine)
23	123184	15/06/2019 07:35	46,3888	12,9882	0.3	0 km ONO di Verzegnis (Udine)
24	123185	15/06/2019 07:43	46,3803	12,9918	0.1	1 km S di Verzegnis (Udine)
25	123186	15/06/2019 07:50	46,3892	12,9902	0.1	0 km NO di Verzegnis (Udine)
26	123187	15/06/2019 07:54	46,3467	13,1317	0.3	2 km NNO di Venzone (Udine)
27	122927	15/06/2019 14:08	46,3903	13,0015	1.7	1 km ENE di Verzegnis (Udine)
28	122939	15/06/2019 19:14	46,3395	13,1270	0.5	1 km NO di Venzone (Udine)
29	123188	15/06/2019 19:31	46,3420	13,1372	0.1	1 km N di Venzone (Udine)
30	122945	15/06/2019 20:33	46,3960	13,0062	1.3	1 km OSO di Tolmezzo (Udine)
31	122950	15/06/2019 20:41	46,3918	12,9977	0.3	1 km NE di Verzegnis (Udine)
32	122955	15/06/2019 21:52	46,3890	12,9833	0.2	1 km O di Verzegnis (Udine)
33	122968	16/06/2019 00:02	46,3370	13,1225	1.2	1 km ONO di Venzone (Udine)
34	122972	16/06/2019 03:58	46,3890	12,9880	0.7	0 km ONO di Verzegnis (Udine)
35	123202	16/06/2019 04:15	46,3360	13,1297	0.3	1 km ONO di Venzone (Udine)
36	122979	16/06/2019 13:40	46,3930	12,9897	3.0	1 km NNO di Verzegnis (Udine)
37	123233	16/06/2019 20:38	46,3630	13,1547	0.3	3 km NNE di Venzone (Udine)
38	122997	16/06/2019 21:39	46,3395	13,1260	0.7	1 km ONO di Venzone (Udine)
39	123234	16/06/2019 21:46	46,3480	13,1323	0.4	2 km NNO di Venzone (Udine)
40	122999	16/06/2019 22:54	46,3375	13,1273	0.5	1 km ONO di Venzone (Udine)
41	123125	22/06/2019 18:03	46,3335	13,2152	1.3	6 km E di Venzone (Udine)
42	123168	25/06/2019 01:49	46,3900	12,9913	0.3	0 km N di Verzegnis (Udine)
43	123252	26/06/2019 00:46	46,3422	13,1598	0.1	2 km ENE di Venzone (Udine)
44	123196	26/06/2019 04:18	46,4312	13,1642	0.4	4 km NO di Moggio Udinese (Udine)
45	123292	29/06/2019 00:16	46,3927	12,9982	0.3	1 km NE di Verzegnis (Udine)
46	123337	29/06/2019 14:30	46,3885	12,9988	0.3	1 km E di Verzegnis (Udine)
47	123473	05/07/2019 17:56	46,2382	13,1065	0.5	3 km SE di Osoppo (Udine)
48	123506	07/07/2019 12:06	46,3897	12,9777	0.7	1 km O di Verzegnis (Udine)
49	123510	07/07/2019 21:09	46,3988	12,9963	3.0	1 km NNE di Verzegnis (Udine)
50	123569	10/07/2019 03:19	46,3938	13,0207	0.4	0 km SSE di Tolmezzo (Udine)
51	123693	16/07/2019 02:05	46,3475	13,2322	1.0	5 km S di Resiutta (Udine)

図1 Tolmezzo、Venzone、Verzegnisとその周辺地域の2019年6月14日から2019年7月16日の間にUdine地震センター (INGV) によって検出された地震一覧。最も関連性の高い地震は緑色と黄色で塗られている。

器の提供者であるペルージャのSARA社のオーナーのMauro Mariottiによって設計された。使用されたデバイスは、オリジナルなプランに基づいて筆者によって作成された。

アンテナから受信し、増幅およびフィルタリングされた信号は、解像度18ビットのデジタル/アナログ変換カードに送信される。このカードのデザインは常にペルージャのSARA社によって行われ、その構造も自家製である。

A/Dカードからの出力データは、S.O用のソフトウェアによって処理される。WindowsはSeismowinという名前で、SARA社 (<http://www.sara.pg.it>) が無料で作成および提供している。

Seismowinソフトは、リアルタイムで信号のビデオ再生に加えて、時間領域での毎日の記録である“DRUM”画面とフーリエ変換によって得られる毎日のスペクトログラムである“DRUM FFT”の信号生成を加工している。

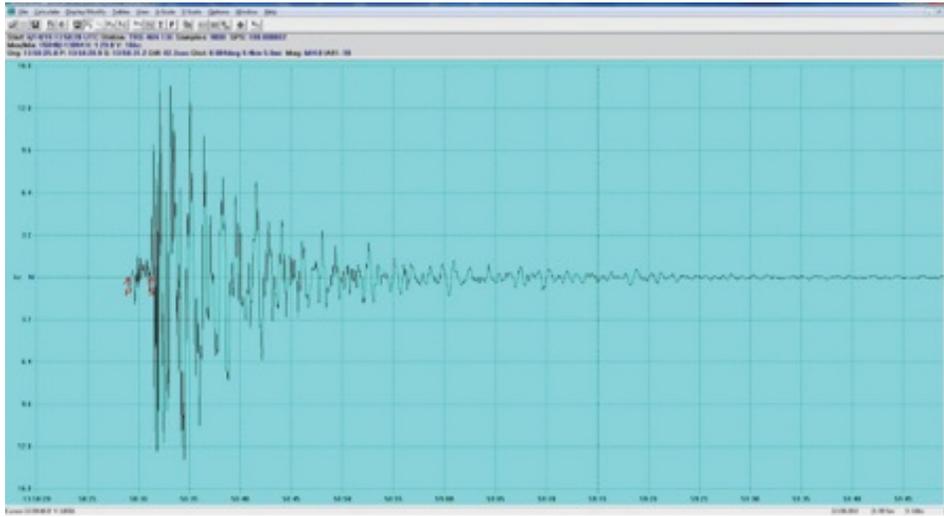


図2 2019年6月14日世界時13時57分にVerzegnis市(UD)で発生したマグニチュードMw3.9の主震の地震波形。地震波形は、筆者が作成したFMES(流体質量電解センサー)を使用し、Trasaghisアマチュア局によって作成された。

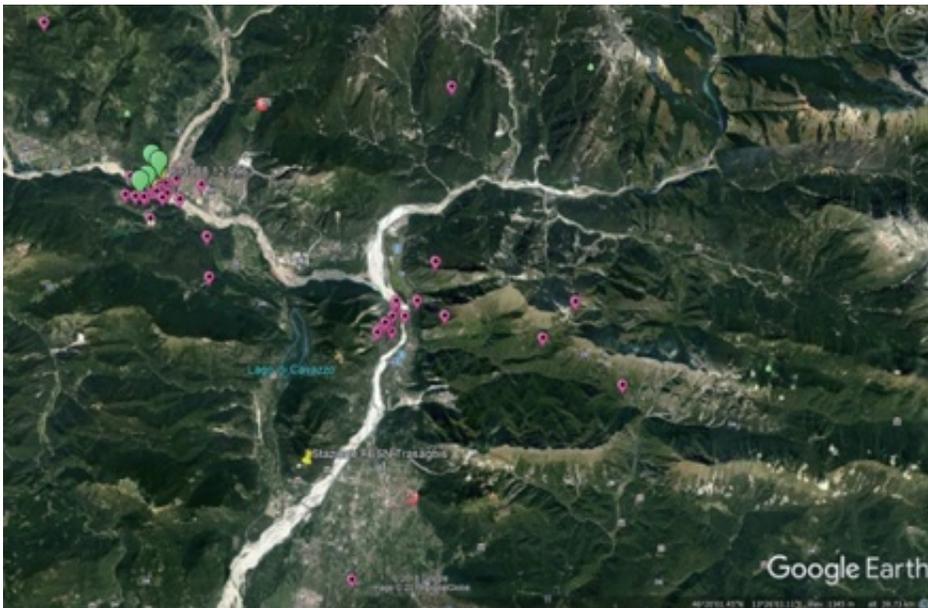


図3 検出された地震の震源と対象地域の地図が強調表示されている。主震は緑色である。



図4 対象地域の活断層の地図(赤線)。(活断層によるISPRA-ITHACA-イタリアハザード)

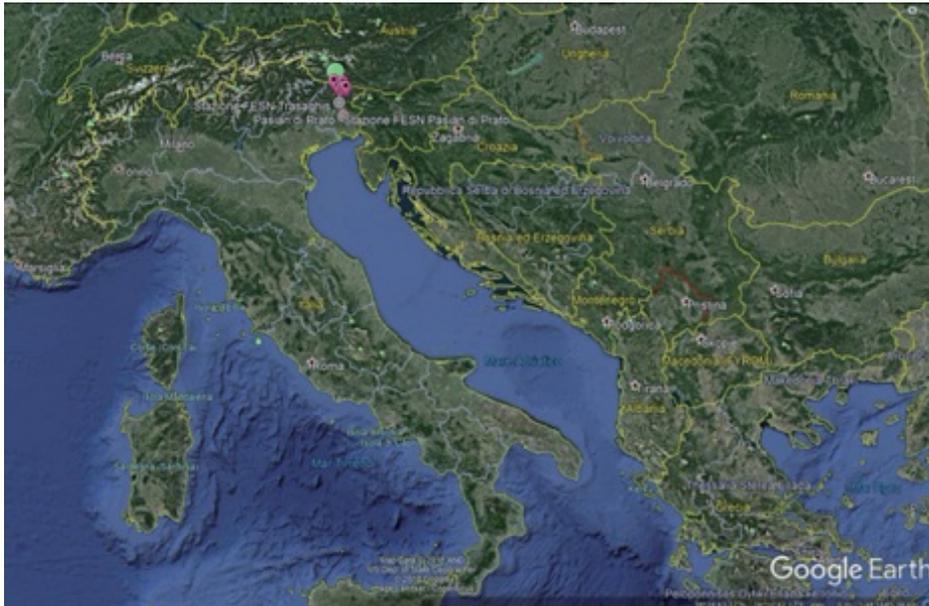


図5 Pisan di Prato と Trasaghis の FESN 監視局の位置。



図6 非常に高いインダクタンスのアンテナの写真。6つの絶縁された銅線の17,000回巻のコイルと軟鉄棒でできた突き出ている芯に注目。

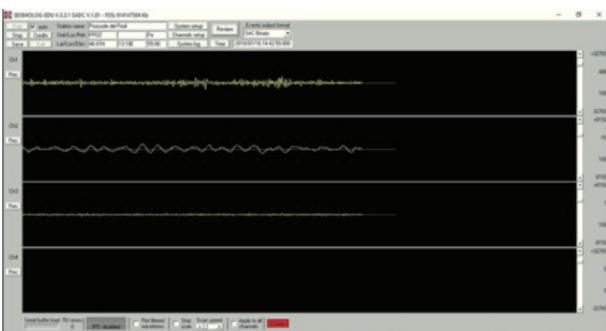


図7 Windows 動作システムを搭載したパーソナルコンピュータを使用して地震を記録している、データ取得デバイスとともに使用される Seismolog-Edu ソフトウェア (Seismowin element) のソフトの画面例。接続されたセンサーの3つのリアルタイムのトレースに注目。前述のアンテナを使用した動作の場合、チャンネルの1つは後者用に予約されている。

他の研究者がここで報告された経験を再現することができるようにするために、Seismowin ソフトと互換性がある場合、アンテナは別として、上記の計測器を標準の地震監視局（できれば24ビット）に置き換えることができると明記されている。

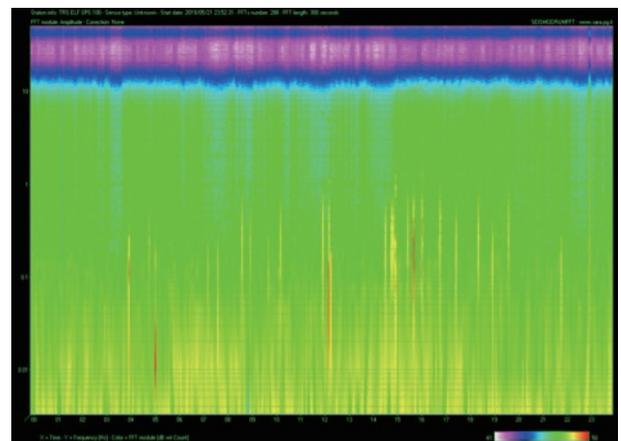


図8 電磁気活動を記録した日に関連するスペクトログラム。x軸は時間（単位は時間）、縦軸は基準周波数（0～25Hz）を表している。右下に、-41～+50dB/カウントの範囲の色の凡例を示す。人為的および自然起源（モーター・雷など）の擾乱に関連する黄色と赤色のバーおよび干渉を除いた約1～10Hzの部分に注目。

監視の特徴

監視局は、アンテナによって検出された電磁気信号の毎日の画面を対象期間全体にわたって0～25Hzで監視し、保存した。

この期間中に、電線やその他の妨害源などの重大な人為的ノイズの発生源から十分に離れた前衛の山の位置を考慮すると、監視局は比較的低い背景ノイズを検出することが分かった。いずれにせよ、干渉する信号を生成しないように、50Hzのネットワーク周波数は考慮された周波数帯を十分に上回っている。

以下に示すものと比較して、比較的わずかな違いで記録された標準画面では、背景ノイズの特性が緑色で画像に示され、世界標準時0:00に始まり24:00までの基準時間が横座標に示されて画面のほとんどをカバーし、0Hzに始まり25Hzまでを示す監視周波数が縦軸に示

されている。抽出周波数は 100 Hz に等しい。

画面を構成する垂直な棒の数は、288 に等しい。300 秒からなる検出された信号部分に基づいて処理されている。

約 0.5 Hz ～約 10 Hz の周波数帯では、検出された信号は極めて均一であり、干渉がないため、この周波数帯の異常を検出することができる。

実施された監視は、Trasaghis 監視局に比較して直線で約 27km 離れたところの Pasion di Prato(UD) に位置するツイン監視局で検出されたものに相当する画像を生成する最初からほぼゼロの異常により特徴づけられる。

異常信号

最初の異常信号は、1 日中続いた背景ノイズの増加からなる 2019 年 5 月 26 日から始まる Trasaghis 局によって記録された。

5 月 29 日世界時 07.00 直後に、別の異常信号が 6 月 1 日午後 5 時まで続く 1Hz よりわずかに高い周波数の集束信号により記録された。

背景ノイズの増加は、6 月 2、12、13、14、15、16、17 日にも発生した。6 月 15 日が特に強かった。

拡散したノイズの増加と 1Hz 付近に集中した信号の両方を含む同様の信号が、2016 年と 2017 年のイタリア中部の地震と併せて、Pasion di Prato のツイン監視局で記録されたことに注目すべきである。この調査は、前の論文 (27) のテーマだった。

結果

本論で検討されている周波数帯の圧磁効果によって信号を放出する地震応力を受ける岩石の実際の限界能力は、他の研究者によってすでに解析されてきている。したがって、受信した異常信号を、Verzegnis での最初の重要な地震により誘発された応力により活性化された可能性のある Trasaghis 監視局近くに存在する断層の応力状態と関連させて考えるのは妥当である。

最初の異常な電磁気信号は主震の 18 日前に検出され、これらの信号は、おそらくこの地域内の断層の応力状態を強調し、この地震をはるかに超えて継続したことに注目することが重要である。

したがって、この経験に続いて、高い地震マグニチュードによって活性化された断層の応力状態を監視するために、基準局に存在するものと同様なアンテナを備えた標準的な移動式地震監視局を使用して実験すると、

研究・予防・市民保護の目的で、潜在的なさらなる余震を評価するために震源近くに監視局を配置することができる。ただし、さまざまな場所の応答は大きく異なる可能性があるため、これらの条件で収集されたデータは最大限の注意と慎重さで評価すべきであることも考慮する必要がある。

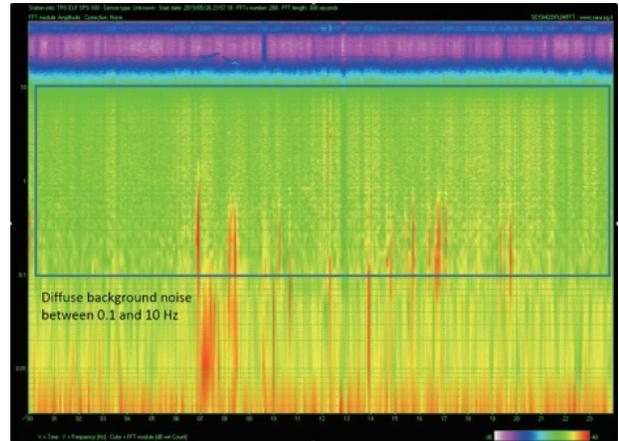


図 9 2019 年 6 月 26 日のスペクトログラム。0.1 ～ 10 Hz の信号周波数帯の長方形の枠内の緑色の背景上に黄色の背景ノイズが増加していることに注目。

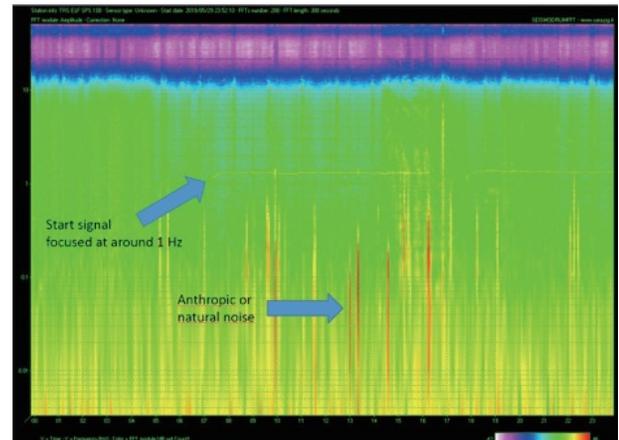


図 10 2019 年 5 月 29 日のスペクトログラム。約 1Hz での集束した信号の始まり (7 時) と、およそ 0 ～ 1Hz の周波数帯の人為的または自然ノイズに注目。

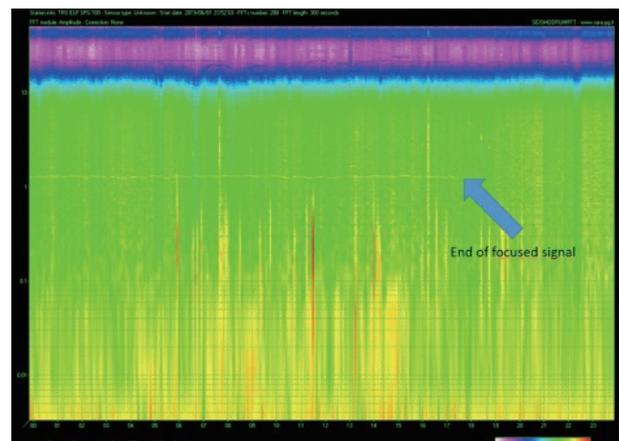


図 11 2019 年 6 月 1 日のスペクトログラム。(2019 年 5 月 29 日の) 約 58 時間後の約 1Hz の集束した信号の終わりに注目。

Pasian di Prato 監視局での検討期間中に、同様の信号が存在しないのはおそらく、発信源地域からの距離 (約 45km) が大きいことと、放出された震源での電磁気エネルギーが限られていたためであろう。

謝辞 Gabriele と Daniele Cataldi (LTPA 観測事業), Renato Romero (VLF.it), そして何よりも Marco Toni 氏 (IK4MKG) にアンテナの構築に関するアドバイスをいただきました。Biondi Roberto 氏 (IV3BUT) には、親切な共同研究にをしていただき、Trasaghis 監視局でもてなしをしていただいた Marzia Vuerich 夫人およびラジオアマトリ・イタリアーニ協会 (イタリアアマチュア無線連盟) には、この研究を支援していただいた。

文 献

1. S. Yu. Aleksandrin - A. M. Galper - L. A. Grishantzeva - S. V. Koldashov - L. V. Maslennikov - A.M. Murashov- S. A. Voronov - Space Physics Institute, Moscow State Engineering Physics Institute, Kashirskoe shosse 31, 115409 Moscow, Russia - P. Picozza - Dept. of Physics, Univ. of Rome "Tor Vergata" and INFN Sez. Rome2, via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Rome, Italy - V. Sgrigna - Dept. of Physics, Univ. of Rome "Roma Tre", via della Vasca Navale, 84, I-00146 Rome, Italy - High-energy charged particle bursts in the near-Earth space as earthquake precursors - <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00317001>, 2003.
2. Winda Astuti, Rini Akmeliawati, Wahyu Sediono, and M. J. E. Salami - Hybrid Technique Using Singular Value Decomposition (SVD) and Support Vector Machine (SVM) Approach for Earthquake Prediction - IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING, VOL. 7, NO. 5, MAY 2014.
3. W. Astuti, W. Sediono, R. Akmeliawati, A. M. Aibinu, and M. J. E. Salami - Intelligent Mechatronics System Research Units (IMSRU), Department of Mechatronics Engineering - International Islamic University Malaysia, Gombak, Selangor Darul Ehsan, Malaysia - Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 1679-1686, 2013 - www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/1679/2013/.
4. R. Barr - National Institute of Water and Atmospheric Research, Greta Point, Wellington, New Zealand; Llanwyn Jones - Physics Department, King's College, Strand, London, WC2R 2LS, UK , C.J. Rodger - Physics Department, University of Otago, P.O. Box 56, Dunedin, New Zealand - ELF and VLF radio waves - Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 62 (2000) 1689-1718.
5. Shourabh Bhattacharya and A.K.Gwal - Space Science Laboratory, Department of Physics, Barkatullah University, Bhopal-462 026, India - Observations made by Demeter micro-satellite for ultra low frequency and extremely low frequency emissions during Indonesian earthquake, 2007.
6. P. F. Biagi, R. Piccolo, A. Minafra, T. Maggipinto, L. Castellana - Department of Physics-INFN, University of Bari, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy - O. Molchanov - United Institute of the Earth's Physics, Russian Academy of Science, Bolshaya Gruzinskaya 10, 123995 Moscow, Russia - A. Ermini - Department of Physics and Energy Science and Technology, University of Rome Tor Vergata, Via di Tor Vergata, 00133 Rome, Italy - V. Capozzi, G. Perna - Department of Biomedical Sciences-INFN, University of Foggia, Via L. Pinto, 71100 Foggia, Italy - Y.M. Khatkevich and E. I. Gordeev - Experimental and Methodical Seismological Department, Geophysical Service, Russian Academy of Science, Pijp Av. 9, 683006 Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia - Retrospective analysis for detecting seismic precursors in groundwater argon content - Natural Hazards and Earth System Sciences (2004) 4: 9-15 SRef-ID: 1684-9981/nhess/2004-4-9.
7. John L. Casey and Dong R. Choi - International Earthquake and Volcano Prediction Center (IEVPC) - A relationship between solar activity, energy transmigration, and New Zealand earthquakes - New Concepts in Global Tectonics Journal, V. 5, No. 2, June 2017 - pp. 255-260.
8. Daniele Cataldi, and Gabriele Cataldi - Radio Emissions Project, Rome (I) Valentino Straser - independent researcher - 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, 2017 <http://www.asianonlinejournals.com/index.php/IJMREER>.
9. Gabriele Cataldi, Daniele Cataldi - Radio Emissions Project, Rome (I). Riccardo Rossi - Friuli Experimental Seismic Network (FESN), Udine (I) and Valentino Straser - Department of Science and Environment UPKL Brussels (B) - SELF-ELF Electromagnetic signals correlated to M5+ Italian Earthquakes occurred on August 24, 2016 and January 18, 2017 - NCGT JOURNAL Volume 5, Number 1, March 2017 pp. 134-143.
10. Robert D. Cicerone - Department of Earth Sciences, Bridgewater State College, Bridgewater, MA 02325, USA - John E. Ebel - Weston Observatory, Department of Geology and Geophysics, Boston College, 381 Concord Road, Weston, MA 02493-1340, USA - James Britton - Weston Observatory,

- Department of Geology and Geophysics, Boston College, 381 Concord Road, Weston, MA 02493-1340, USA - Weston Geophysical Corporation, 181 Bedford Street, Suite 1, Lexington, MA 02420, USA - A systematic compilation of earthquake precursors - *Tectonophysics* 476 (2009) 371–396.
11. Kostas Eftaxias, John Kopanas, Nikos Bogris, Panayiotis Kapiris, George Antonopoulos, and Panayiotis Varotsos - Solid Earth Physics Institute, University of Athens - Detection of electromagnetic earthquake precursory signals in Greece - Communicated by Seiya UYEDA, M.J.A., April 12, 2000).
 12. Thomas W. Engler, Ph.D., P.E. - Electrical Properties of Rocks - Lecture notes for PET 370, 2011.
 13. Cristiano Fidani - Osservatorio Sismico “Andrea Bina”, Perugia, Italy - Daniele Marcelli - 2 Central Italy Electromagnetic Network, Fermo, Italy - Ten Years of the Central Italy Electromagnetic Network (CIEN) Continuous Monitoring - *Open Journal of Earthquake Research*, 2017, 6, 73-88 <http://www.scirp.org/journal/ojer>.
 14. Cristiano Fidani - Physics Department, Perugia University, Via A. Pascoli, Perugia 06123, Italy - The Central Italy Electromagnetic Network and the 2009 L’Aquila Earthquake: Observed Electric Activity - *Geosciences* 2012, 1, 3- 25; doi:10.3390/geosciences1010003.
 15. Vladimir Frid - Dov Bahat - The Deichmann Rock Mechanics Laboratory of the Negev - Department of Geological and Environmental Sciences - Julia Goldbaum - Avinoam Rabinovitch - The Deichmann Rock Mechanics Laboratory of the Negev - Physics Department, Ben-Gurion University of the Negev, Be’er Sheva, Israel - Experimental and theoretical investigations of electromagnetic radiation induced by rock fracture - *Isr. J. Earth Sci.*; 49: 9–19, 2000.
 16. N. Gershenzon and G. Bambakidis - Department of Physics Wright State University, Dayton, Ohio U.S.A. - Modeling of seismo-electromagnetic phenomena - *RUSSIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES*, VOL. 3, NO. 4, PAGES 247–275, OCTOBER 2001.
 17. Liming He - Department of Geodesy and Geomatics, School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, China - Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - Kosuke Heki - Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - Ionospheric anomalies immediately before M w 7.0-8.0 earthquakes - *JGR Space Phys.* 2017.
 18. Liming He - Department of Geodesy and Geomatics, School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, China - Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - Kosuke Heki - Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - Three-Dimensional Tomography of Ionospheric Anomalies Immediately Before the 2015 Illapel Earthquake, Central Chile - *JGR Space Phys.* 2018.
 19. T. R. Henderson, V. S. Sonwalkar, R. A. Helliwell, U. S. Inan, and A. C. Fraser-Smith - A Search for ELF/VLF Emissions Induced by Earthquakes as Observed in the Ionosphere by the DE 2 Satellite - *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 98, NO. A6, PAGES 9503-9514, JUNE 1, 1993.
 20. Y. Ida - M. Hayakawa - Department of Electronic Engineering and Research Station on Seismo Electromagnetics, The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585, Japan - D. Yang - Q. Li - Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China - H. Sun - Kashi Observatory, Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang 844000, China - Detection of ULF electromagnetic emissions as a precursor to an earthquake in China with an improved polarization analysis - *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 775–777, 2008 - www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/775/2008/.
 21. Michael C. Kelley - Wesley E. Swartz - School of Electrical and Computer Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, USA, Kosuke Heki - Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - Apparent ionospheric total electron content variations prior to major earthquakes due to electric fields created by tectonic stresses - *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 122(6): 6689-6695, 2017.
 22. G. Lacidogna, A. Carpinteri, A. Manuello, - Department of Structural Engineering & Geotechnics. Politecnico di Torino. Corso Duca degli Abruzzi 24 - IOI 29 Torino Italy - G. Durin, A. Schiavi, G. Niccolini and A. Agosto - National Research Institute of Metrology - INRiM. Strada delle Cacce 91 Torino, Italy - Acoustic and Electromagnetic Emissions as Precursor Phenomena in Failure Processes – strain - *An International journal for Experimental Mechanics*, 2011.
 23. Rodolfo Manno - Italian Committee for Project Hessdalen - Onde radio nella Banda LF e precursori sismici, 2003.
 24. S. Cht. Mavrodiev, C. Thanassoulas - Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy - Bulgarian Academy of Sciences - Possible correlation between electromagnetic earth fields and future earthquakes -

- Seminar Proceedings - 23-27 July, 2001 Sofia.
25. G. Minadakis - Department of Electronic and Computer Engineering, Brunel University Uxbridge, Middlesex, UB8 3PH, U.K. - S. M. Potirakis - Department of Electronics, Technological Educational Institute of Piraeus, 250 - Thivon & P. Ralli, GR-12244, Aigaleo - Athens, Greece , C. Nomicos - Department of Electronics, Technological Educational Institute of Athens, Ag. Spyridonos, Egaleo, GR 12210, Athens, Greece , K. Eftaxias - Department of Physics, Section of Solid State Physics, University of Athens, Panepistimiopolis, GR 15784, Zografos, Athens, Greece - Linking electromagnetic precursors with earthquake dynamics: an approach based on nonextensive fragment and self-affine asperity models - arXiv:1111.4829v2 [physics.geo-ph] 23 Nov 2011.
 26. O. Molchanov, A. Schekotov, E. Fedorov, G. Belyaev, E. Gordeev - Preseismic ULF electromagnetic effect from observation at Kamchatka - HAL Id: hal-00299021 - <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00299021>, 2003.
 27. A. Nardi - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy - M. Caputo - Department of Physics, University of Rome “La Sapienza”, Rome, Italy - Department of Geology and Geophysics, Texas A&M University, College Station, Texas, USA - Monitoring the mechanical stress of rocks through the electromagnetic emission produced by fracturing - *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 46 (2009) 940–945.
 28. Ohta, K., J. Izutsu, A. Schekotov, and M. Hayakawa (2013), The ULF/ELF electromagnetic radiation before the 11 March 2011 Japanese earthquake, *Radio Sci.*, 48, 589–596, doi:10.1002/rds.20064, 2013.
 29. G. R. Olhoeft - Department of Physics, University of Toronto, Toronto, Ontario - *Electrical Properties of Rocks -CINDAS data series on material properties*, volume II(2), 1981;
 30. Sujay Pal - Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy (Science) in Physics (Theoretical) of the University of Calcutta - Numerical Modelling of VLF Radio Wave Propagation through Earth-Ionosphere Waveguide and its application to Sudden Ionospheric Disturbances, 2015.
 31. Michel Parrot - Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement, 450 71 Orleans Cedex 02, France -*Electromagnetic Disturbances Associated With Earthquakes: An Analysis of Ground-Based and Satellite Data - Journal of Scientific Exploration*. Vol. 4, No. 2, pp. 203-211, 1990;
 32. Petraki E - Stonham J - Brunel University, Department of Engineering and Design, Kingston Lane, Uxbridge, Middlesex UB8 3PH, London, UK - Nikolopoulos D - Yannakopoulos P - TEI of Piraeus, Department of Electronic Computer Systems Engineering, Petrou Ralli and Thivon 250, GR-12244 Aigaleo, Athens, Greece - Nomicos C - TEI of Athens, Department of Electronic Engineering, Agiou Spyridonos, GR-12243, Aigaleo, Athens, Greece – Cantzos D - TEI of Piraeus, Department of Automation Engineering, Petrou Ralli and Thivon 250, GR-12244 Aigaleo, Greece - and Kottou S - University of Athens, Medical School, Department of Medical Physics, Mikras Asias 75, GR-11527 Goudi, Athens, Greece - *Electromagnetic Pre-earthquake Precursors: Mechanisms, Data and Models-A Review - Earth Science & Climatic Change - <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7617.1000250>*, 2015.
 33. Sergey Pulnits – Space Research Institute – *Ionospheric Precursors of Earthquakes Recent Advances in Theory and Practical Applications - TAO*, Vol. 15, No. 3, 413-435 September 2004.
 34. A. Riggio and M. Santulin - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste, Italy - *Earthquake forecasting: a review of radon as seismic precursor - Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* Vol. 56, n. 2, pp. 95-114; June 2015.
 35. Valentino Straser - Department of Science and Environment UPKL Brussels (B) - Daniele Cataldi, and Gabriele Cataldi - *Radio Emissions Project, Rome (I) - Radio Direction Finding System; a new perspective for global crust diagnosis - New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 6, no. 2, June 2018 – pp. 202-210 - www.ncgtjournal.com.
 36. Thanassoulas, P.C., B.Sc in Physics, M.Sc – Ph.D in Applied Geophysics Retired from the Institute for Geology and Mineral Exploration (IGME) Geophysical Department, Athens, Greece - *Pre-Seismic Electrical Signals (SES) generation and their relation to the lithospheric tidal oscillations K2, S2, M1 (T = 12hours / 14 days)*, 2008.
 37. Thanassoulas Constantine: “Short Term Earthquake prediction” – 2007.
 38. Minoru Tsutsui - Department of Information and Communication Sciences, Kyoto Sangyo University, Kyoto, Japan- Identification of earthquake epicenter from measurements of electromagnetic pulses in the Earth - *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 32, L20303, doi:10.1029/2005GL023691, 2005.
 39. X. Zhang, X. Shen, Michel Parrot, Z. Zeren, X. Ouyang, et al. - Phenomena of electrostatic perturbations before strong earthquakes (2005–2010) observed on DEMETER - *Natural Hazards and Earth System Sciences*, European Geosciences Union, 2012, 12, pp.75-83. <10.5194/nhess-12-75-2012>. <insu-01179988>.

地球のテクトニクス：八面体フレームと対蹠的な大陸と海洋（地球の幾何学） Tectonics of Earth: Octahedron Frame and Antipodean Continents and Oceans (Geometry of Earth)

G. G. Kochemasov

IGEM of the Russian Academy of Sciences,
35 Staromonetny, 119017 Moscow, Russian Federation, kochem.36@mail.ru

(矢野 孝雄 [訳])

要旨：波動惑星学によると、この概念は、4つの定理に展開できる [2-5]：1. 天体は二分的である。2. 天体はセクターに区分できる。3. 天体は粒状である。4. さまざまなレベルの構造ブロックの角運動量が等しくなる傾向を示す。定在波による波の構造化は、天体に多面体の特徴をもたらす。多面体の面の数とサイズは波長に依存する。地球の主要な構造ブロック：大陸と海洋は波1と波2によって形成される。波1（基本）は構造二分法（太平洋 - 大陸半球）を担当し、波2（最初の倍音）は構造八面体の面である構造セクターを担当する。大陸と海洋のブロックは、地球のフレーム内では正反対であり、コアとマントルの境界では逆に反射される。

キーワード：地球，テクトニクス，八面体フレーム，大陸，海洋，構造セクター，対蹠的構造

さまざまな多面体による地球の総表面の近似は、かなり昔に実施された [6]。これは、これらの構造の背後で、地球上のオブジェクトの配置にさまざまな規則性、周期性、対称性が生じ、提案されたすべての数値が空想ではなく、多かれ少なかれ惑星の客観的な構造特性を反映しているためである。これらの空間的な規則性と対称性の根底には波動プロセスがあるとはっきりと述べることができるだろう。それらの本質は、定期的な現象の再発である。定常的な慣性重力波が地球の球を歪め（これはすべての天体に適用される）、4つの直交および斜め方向に沿って伝搬する。これらは、適用された軌道エネルギーと曲率が原因で発生する。さまざまな波動方向の干渉は、さまざまなサイズの隆起 (+)、沈み込み (-)、中立 (0) の構造ブロックを周期的に変化させる惑星の形成につながる。サイズは波長によって異なる。天体がさまざまな長さの波によって歪められている限り、大きな惑星の円、倍音、および個々の波（それらの長さは軌道周波数に依存する）としての基本波から始まり、地球に刻まれたさまざまな幾何学的図形が存在する可能性がある。

常に存在する基本波（長い $2\pi R$ 、 R は天体の半径）は天体の構造的二分法の原因であり（定理1 [3]）、最初の倍音（ πR ）は構造的扇形 - 構造的八面体を与える（図1, 2）（定理2, [3]）。個々の特徴的な波は、その長さが軌道周波数に反比例し、さまざまな多面体を作る造構造粒を生成する（定理3 [3]）。周波数 $1/1$ 年に接続された特徴的な地上波の長さは $\pi R/2$ で、大円では4つの構造バルジ (+) と4つの穴 (-) が交互に現れ、長さは $\pi R/4$ （十字のような構成）になる。この独特の波のワーピングは、数人の著者 [6 など] によって地球圏で指摘された立方体の出現に関連している。立方体の頂点、エッ

ジ、面は、地球圏テクトニクスの実際の非常に特徴的な要素 [6] と一致するが、それらの主要な構造ブロックである大陸や海洋とは直接関係しない。初めての波テクトニクスは、地球の主要な構造ブロック、つまり大陸と海洋が地球の八面体フレームの要素であることを示し、説明している。これらのブロックの典型的なサイズ（八面体の面のサイズ）と地球上のそれらの位置における顕著な規制を明らかにしてください。それらの性格にみられる混乱は見かけ上のものである。

4つの方向のうちの2つの波の干渉によって作られた八面体は、すべての天体で観察される [4, 9]。

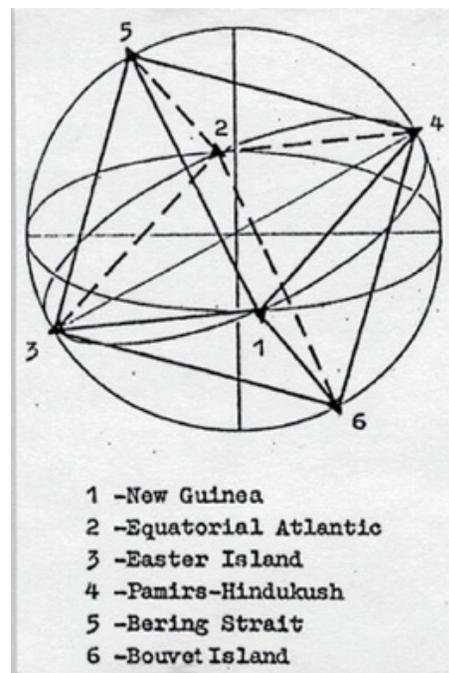


図1. 地球の八面体

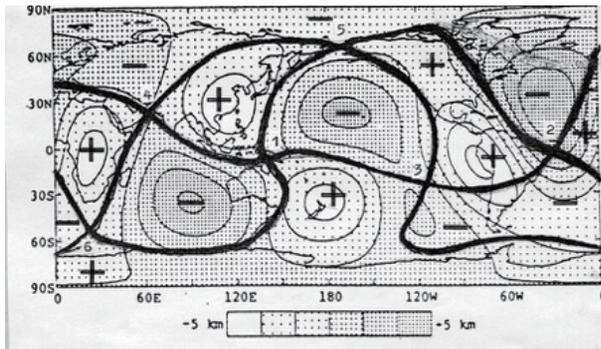


図2. 八面体セクター (太い線) とコアマンツル境界での逆反射 [6]

地球の八面体の6つの正反対の頂点 (1. ニューギニア, 2. 赤道大西洋, 3. イースター島, 4. パミールス-ヒンドゥクシュ, 5. ベーリング海峡, 6. ブーベ島) は, 赤道地帯に配置され, 熱帯および極環, つまり八面体の宇宙側を示す. したがって, 地球の主要な構造は, その宇宙運動によって引き起こされる (「軌道は構造を作る」) [6-8]. 軌道は構造を形成する. つまり, +, -, および 0 の組み合わせである. この想像上の線の角運動量 0 で, ささまざまな隆起した構造ブロックの合計によって形成されるため, この組み合わせは回転軸の宇宙における位置を決定する. 回転体の回転軸は, ブロックが急速に構造的兆候 (定在波の本質) を変化させると, 天体の中でその位置をジャンプで変化する. 地軸がその位置を変えていたことが知られており, 特に, Pamirs-Hindukush - Easter Isl. の線に沿っている可能性がある. これは, PR-Pz ティライト-古い氷河に関連する堆積物 [6] で見られる. 月の回転軸も位置を変える前は, 現在のそれに対して 30 度傾いていた [1]. 地球の構造八面体には, その波の性質に関連する他の規則性もある. 6つの頂点のそれぞれに, 特定のアルゴリズムによって4つの面セクターを収集する (図3). 常に, 2つのさまざまに沈降したセクターによって分離された, 2つのさまざまに隆起したセクターの反対側にある. テクトニックな「二等分線」によって, セクターは, 高度的および造構的に異なる2つのサブセクターに分割される. 比較的隆起したサブセクターは, 反対セクターの比較的沈降したサブセクターに反対になっていて, 逆もまた同様である. このグローバルな構造化の波の性質もそうである.

ニューギニアの構造 (図1, 3) では, インドネシア (++) とメラネシア (+) のセクターが太平洋 (--) とインド洋 (-) で区切られている. 大西洋構造 (図1, 3) では, 北アメリカ (--) と南大西洋 (-) で区切られたアフリカ (++) と南アメリカ (+) の隆起したセクターに対抗している. イースターセクター (図1, 3) では, 北西 (--) と南東 (-) のセクターで区切られた NE (++) と SW (+) のセクターが対立している. パミールス-ヒンドゥクシュセクター (図1, 3) では, アフリカ-地中海 (++) とアジア (+) の

セクターがユーラシア (-) とインドシナ (--) で区切られている. ベーリング構造 (図1, 3) では, アジア (++) と北アメリカ (+) のセクターが太平洋 (--) と北極 (北海) (-) のセクターで区切られている. Bouvet セクター (図1, 3) では, アフリカ (++) と南極 (+) のセクターが, インド洋 (--) と南大西洋 (-) のセクターで区切られている.

八面体の8つの面のそれぞれには, 面に3つの頂点があるため, 3つのセクターがある. 当然, すべての面は (++, +) または (--, -) のいずれかを示すが, 隆起または沈下の振幅は異なる. すべての面の + または - の合計はそれぞれ異なる. アフリカの面 (6以上) は太平洋 (6) に対して正反対である. アジア (5+) から南大西洋 (3-); 北米 (4+) からインドカニック (5-). 南極 (3+) から北大西洋 (4-). 最も鮮明なコントラストは, 対極アフリカ (6+) と太平洋 (6-) の面の間であり, 南極 (3+) と北大西洋 (4-) の間の最小のコントラストである.

したがって, 構造的な八面体には, その波の性質を反映する正反対の頂点と面のさまざまな兆候 (隆起または沈下) がある. これは「量子テクトニクス」と呼ばれるかもしれない. ずっと前に, 北極と南極の興味をそそる対局性は, 波の構造化の結果であると指摘した. 北極-南極の双極性は, すべての宇宙体, 特に鋭い鈍い端部のかなり特徴的な反対の小さな天体に見られる [2, 4, 5].

したがって, 地球の主な構造ブロック-大陸と海は波1と2によって作られる. 構造的な八面体の面との関係により, それらの配置には大きな規則性, 対極性がある. オーストラリア大陸とヒンドゥスタン亜大陸は他の大陸と異なり, 強く沈静化したインド洋の面に属している. これは, 全体の低高度性, 比較的密度の高い (鉄の) マントルの近接性, そしてその結果としての特定の金属特性に反映されている [2].

多面体の特性を取得する天体の波の構造化は, 多面体の形状による I. ケプラーの恒星の説明を思い出させる. 偉大な科学者のこの考えは真剣に受け取られておらず, 現在まで推定されていない. 本質的に, ケプラーは正しかった.

結論

波動惑星学 [2-9] は, 非円形 (楕円, 放物線) ケプラー軌道における天体の動きは, それらの加速度の体系的な周期変化を意味し, 回転体に影響を与える4方向の波がゆがむことを示唆している. 軌道は構造をつくる. これらの構造は, ワーピングの波長に応じて幾何学的形状を作成する. 基本波1は, 広汎な構造的二分性 (上昇半球セグメントとその反対) をつくりだす. 最初の倍音波2は八面体を構成する. そ

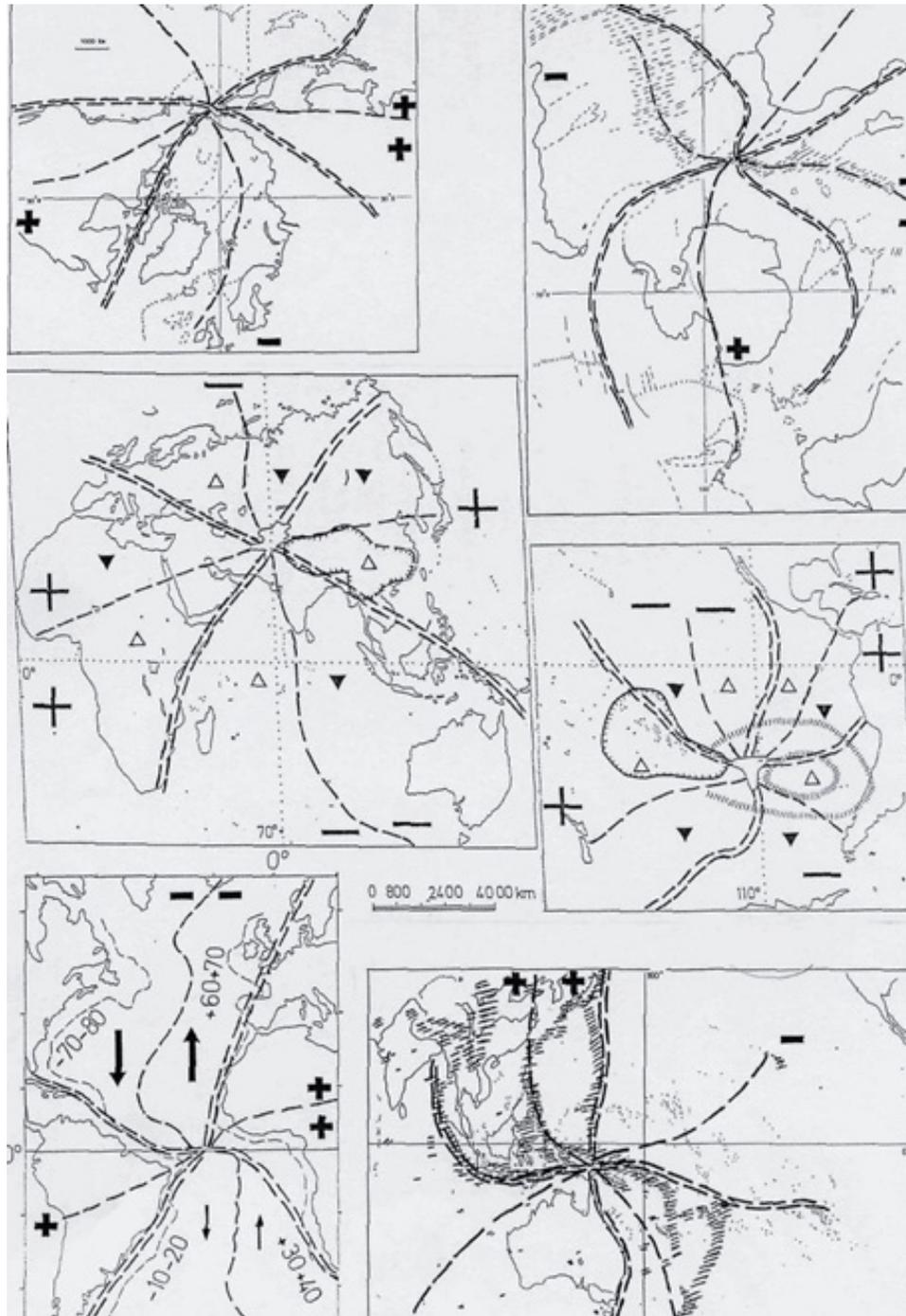


図3. 八面体頂点の周りのセクターとサブセクター.

の反対の面のセクターもさまざまに隆起・沈降する。地球の場合、それらはコア-マントル境界で反射する大陸と海洋である。この基本的な構造メカニズムは、主要な構造ブロックのランダムな動きを拒否する。

文 献

- [1] Garrick-Bethell I, Perera V, Nimmo F, Zuber M. 2014. The tidal-rotational shape of the moon and evidence for polar wander // *Nature*, V.512, p. 181-184.
 [2] Kochemasov G.G. 1998. Sectoral tectonics of the Earth's eastern hemisphere and its crucial role in localization of giant ore deposits, prominent rift

- systems and large flood basalt provinces // *Global Tectonics and Metallogeny*, V. 6, # 3 & 4, p. 195-197.
 [3] Kochemasov G.G. 1999. Theorems of wave planetary tectonics. *Geophys. Res. Abstr.*, V.1, #3, p. 700.
 [4] Kochemasov G.G. 1999. "Diamond" and "dumbbells"-like shapes of celestial bodies induced by inertia-gravity waves. The 30th microsypm. on comparative planetology. Abstracts, Moscow, Vernadsky, Inst., 49-50.
 [5] Kochemasov G.G. 2000. 433Eros as a natural model of planetary wave processes. The 32nd microsypmposium on comparative planetology. Abstracts, Moscow, Vernadsky Inst., 86-87.

全地球 M6+ 地震活動に関連するウルフ数 WOLF NUMBER RELATED TO M6+ GLOBAL SEISMIC ACTIVITY

Gabriele Cataldi¹, Daniele Cataldi², Valentino Straser³

¹Radio Emissions Project, Rome (I). ltpaobserverproject@gmail.com

²Radio Emissions Project, Rome (I). danielle77c@gmail.com

³International Earthquake and Volcano Prediction Center. valentino.straser@gmail.com

(矢野 孝雄 [訳])

要旨：この研究では、2012年から2018年の間に太陽活動と地球規模で記録された地震の数との潜在的な関係について考察する。この結果を得るために、太陽黒点の日数（ウルフ数；光球内の太陽活動の指標パラメーター）と、地球規模で発生する可能性のある破壊的なM6+地震イベントの日数を比較した。研究結果は、太陽活動と全地球のM6+地震活動との間に密接な関係があることを確認した。

キーワード：M6+の地震、太陽活動、黒点、宇宙線、ウルフ数

1.0 はじめに

過去50年間、太陽活動の監視に特化した宇宙ミッション（主なもの：GOES, ACE, SOHO, SDO, DSCOVR）によって提供されるデータを利用することができるおかげで、地震予知に関する研究では徐々に太陽起源の現象に注意が向けられてきた。太陽活動（電磁活動）に関する詳細な研究を実施することができるようになり、太陽起源の現象と地球の地震活動との間に密接な関係があることがくりかえし確認されてきた。20世紀の初めに太陽表面の単純な光学的観測では、1919年にアメリカの天文学者Dinsmore Alterが初めて黒点の数と全地球の地震イベントの記録数の相関性が発見された(Dinsmore, 1920)。最近では2006年の調査により、地中海地域で記録された地震の総数と、紀元296年～1000年の期間のグループ化された黒点の数との間に相関関係が示された(Odintsov et al., 2006)。太陽活動と地球の地震活動は、1960年代後半から相関性が検証されてきた2つの現象である(Simpson, 1968; Machado, 1973; Kalinin, 1974; Gribbin, 1974; Zhang, 1998; Edward, 2008; Afraimovich et al., 2008; Anagnostopoulos et al., 2010; Radovanovic et al., 2011; Nikouravan, 2012-2013; Shestopalov et al., 2014)。著者が2012年に実施した研究でも、このタイプの相関が確認された(Straser, 2011～2017年, Cataldi et al., 2014～2019年)。この作業を通じて、太陽活動が地球の地震活動に大きな影響を与えることが確認された。太陽活動の監視と地上の地磁気活動の監視を組み合わせることで、予測される時期を示唆できる地球規模の指標として使用できる。M6+地震活動の再開。太陽と地球の相互作用の物理的プロセスは、内部太陽系のEMダイナミクスと大規模な地球物理学的イベントの時間的発生との間の深い固有の関係も明らかにする(Casati e Straser, 2013; Charvátová, 2010; Duma and Vilardo,

1998; Mazzarella, and Palumbo, 1989; Sytinsky, 1987, 1989)。

Choi e Maslov (2010) と Kovalyov (2015) は、太陽活動、宇宙線、マグニチュード6以上の地震の地震活動の関係を確認するさらなる研究を提案している。

2012年1月1日～2018年12月31日に筆者らが実施した調査では、太陽イオン流束の密度がM6+の全地球規模の地震活動と密接に関連していることが確認された(Cataldi et al., 2019)。

2.0 方法とデータ

この研究を実現するために、著者らは、Sunspot Index と Long-term Solar Observations (SILSO)¹ および2012年に米国地質調査所 (USGS)² によって提供されたM6+全地球的地震活動データによって、黒点の毎日の数の時間変調を分析した：2018年の合計地震数は969件(図1)。

¹ <http://www.sidc.be/silso/datafiles>

² <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>

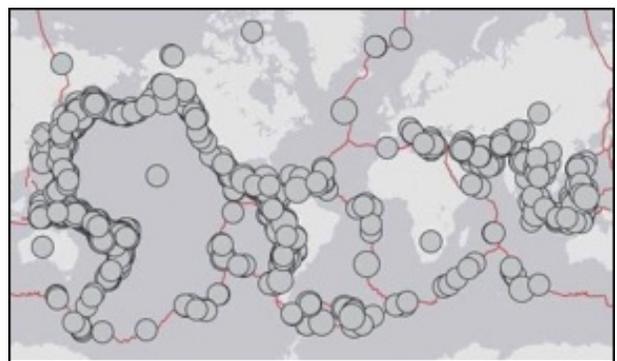


図1 2012年から2018年の間に記録されたM6+地震イベントの惑星的分布。出典：USGS。

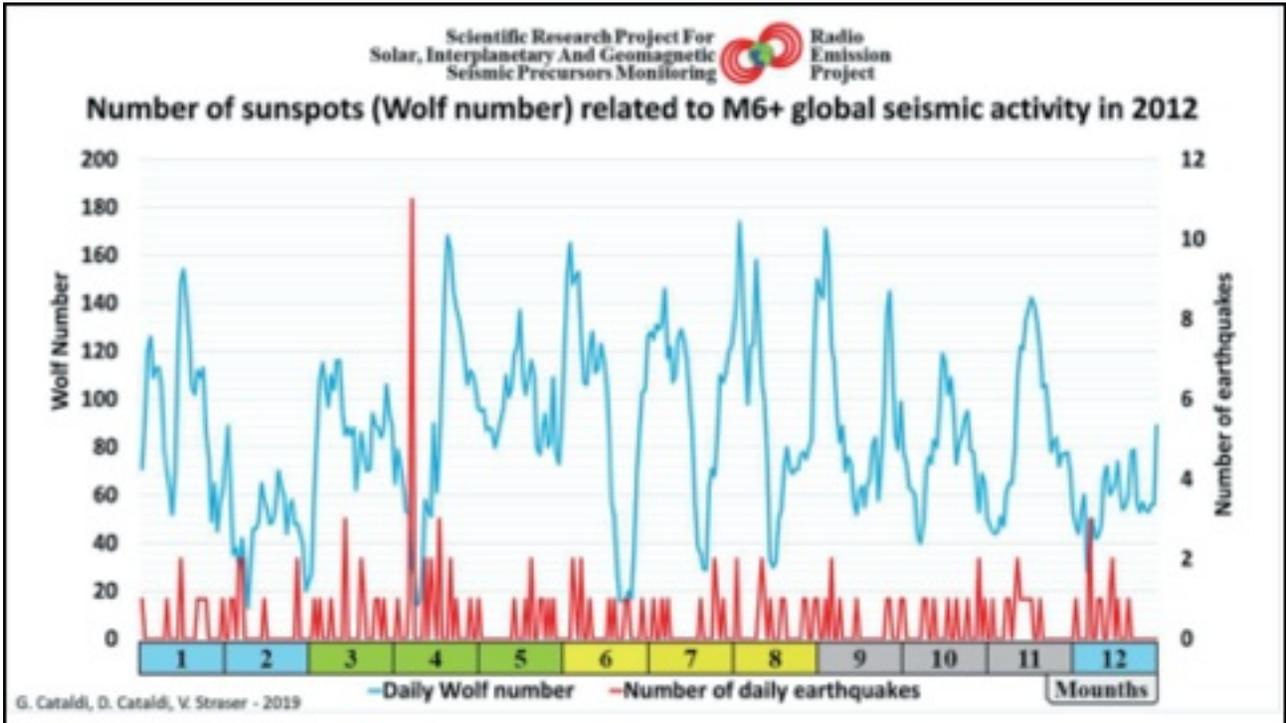


図2 2012年に地球規模で記録されたM6+地震イベントの日数に関連する太陽黒点の日数

その後、図2-8に示すように、2つのタイプのデータが年ごとに分けて示された。

3.0 考察

2012～2018年に地球全体で発生したM6+地震イベントの日数と、黒点の日数に関するデータを分析すると、これら2つの現象が有意に相関していることが判明した：黒点数が最低でも、地震イベント数は減少する傾向がある。一方、黒点の日数が増えると、1日あたりの地震イベントの数が増えるか、太陽活動の増加を観察する期間（日）に発生する単一の地震イベントの頻度が高くなる。

このタイプの相関関係は、過去10年間に著者が行った研究と関連があるようだ。黒点数と地球全体の地震活動との相関関係は、黒点上の磁気ループの存在によって説明される。これは、太陽イオン流の速度の低下と密度の増加を決定する電磁現象である。実際、2012～2018年に、著者は地球規模の地震活動M6+を惑星間媒体（地球の近く）のプロトン密度の増加 (Cataldi et al., 2019) に関連づけ、イオン密度の増加は惑星間媒体が大きいほど、地球に記録される潜在的破壊地震の数が多くなる。太陽活動が低下しているときに平均して破壊的でない地震が繰り返えし発生したとしても、「太陽活動極小期」には逆になる。観測されているように、太陽コロナホール（磁気ループ、フレア、コロナホール）の形成が多いと、HSSW（高速太陽風）のイベントと潜在的破壊地震イベントと関連付けられている現象 (Sytinsky, 1987- 1989) が多数記録されている。

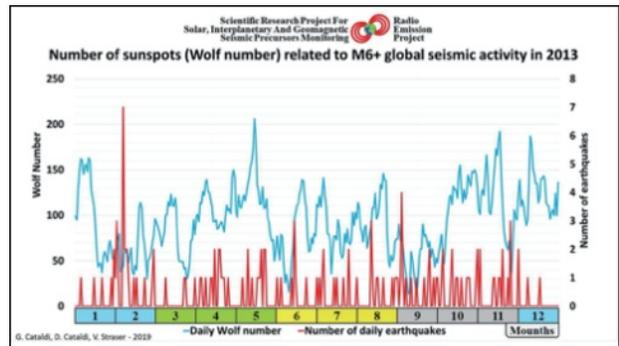


図3 2013年に地球規模で記録されたM6+地震イベントの日数に関連する太陽黒点の日数

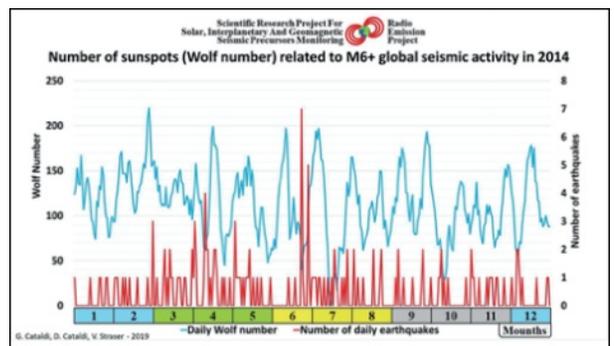


図4 2014年に地球規模で記録されたM6+地震イベントの日数に関連する太陽黒点の日数

太陽イオン流束の密度はM6+全球地震活動に直接関連して (Cataldi et al., 2013-2018)、太陽イオン流束の密度は太陽大気に存在する電磁活動に直接関連していることは明らかである。光球（黒点）と太陽コロナ（磁気ループ、フレア、コロナホール）に存在する電磁現象を監視することにより、数日後の太陽イオンフラックス放出の範囲と方向を予

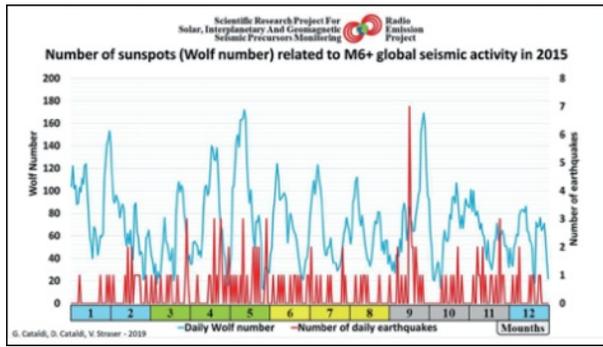


図5 2015年に地球規模で記録されたM6+地震イベントの日数に関連する黒点の日数

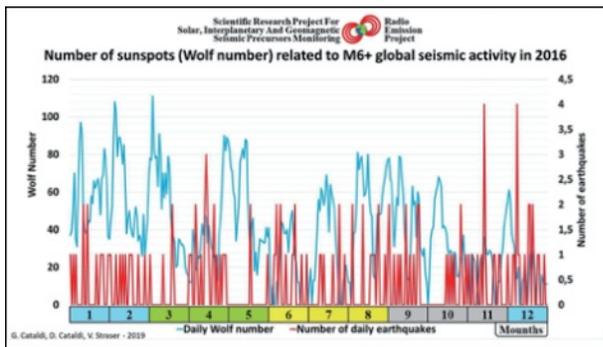


図6 2016年に地球規模で記録されたM6+地震イベントの日数に関連する太陽黒点の日数

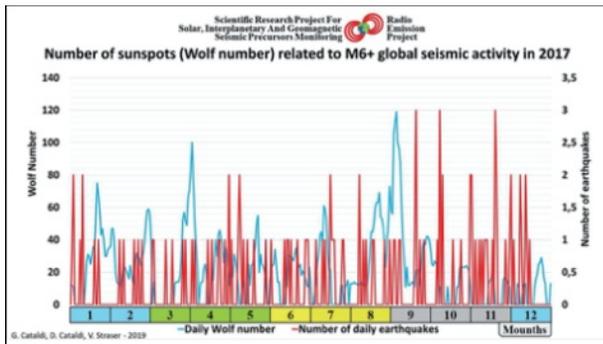


図7 2017年に地球規模で記録されたM6+地震イベントの日数に関連する太陽黒点の日数

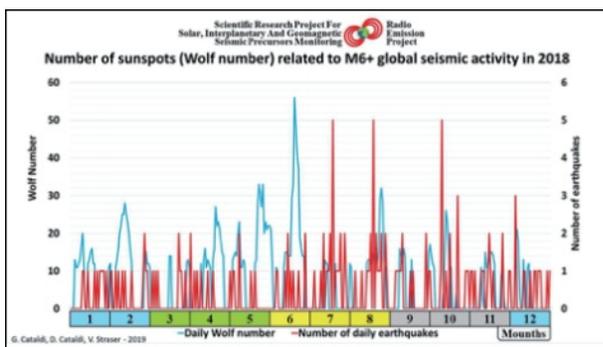


図8 2018年に地球規模で記録されたM6+地震イベントの日数に関連する太陽黒点の日数

測することができる。(2~3日後に)地球に到達し、地球の地磁気の摂動を決定し、M6+の全地球規模の地震活動の再開を決定する。前述の内容に関して、太陽大気に存在する電磁活動は相対的太陽イオンフラックスの発生機構であるため、太陽地震前

駆体 (SSP), すなわち M6 + 全球地震活動に関連する密度変動と見なすことができる。

4.0 結論

図2-8のグラフに示すように、潜在的破壊地震と太陽活動との間に相関性を仮定することは合理的である。太陽活動は、磁場が弱まると地球に到達する宇宙線の道を開き、エントロピーを増加させる。太陽、宇宙磁気および地震活動を相関させる物理法則はまだ解明されていないが、現時点では偶然の「合理的」要素があることも否定できないが、それらの間には密接な関連があると結論される。

文献

- Afraimovich E. L. and Astafyeva E. I., 2008. TEC anomalies-Local TEC changes prior to earthquakes or TEC response to solar and geomagnetic activity changes? *Earth Planets Space*, 60, 961-966.
- Anagnostopoulos G., Papandreou A. and P. Antoniou, 2010. Solar wind triggering of geomagnetic disturbances and strong (M>6.8) earthquakes during the November - December 2004 period. Demokritos University of Thrace, Space Research Laboratory, 67100 Xanthi, Greece. Cornell University Library.
- Casati M., Straser V., 2013. Possible relationship between changes in IMF, M7+ earthquakes and VEI index, during the transition between the solar minimum cycle 23 and the rise of solar cycle 24, EGU General Assembly 2013, 7 April - 12 April, in Vienna, Austria id. EGU2013-1405.
- Cataldi G., Cataldi D., Straser V., 2013. Variations Of Terrestrial Geomagnetic Activity Correlated To M6+ Global Seismic Activity. EGU (European Geosciences Union) 2013, General Assembly, Geophysical Research Abstracts, Vol. 15. Vienna, Austria. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- Cataldi G., Cataldi D., Straser V., 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, 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.
- Cataldi G., Cataldi D., Straser V., 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, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- Cataldi G., Cataldi D., Straser V., 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, 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.
- Cataldi G., Cataldi D., Straser V., 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, June 2016.
- Cataldi G., Cataldi D., Straser V., 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.
- Cataldi G., Cataldi D., Straser V., 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.
- Cataldi G., Cataldi D., Straser V., 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 multi-parametric time-Dependent Assessment of Seismic Hazard (t-DASH) (NH4.3/AS4.62/EMRP2.40/ESS11.7/Gi2.13/SM3.9), General Contribution on Earthquakes, Earth Structure, Seismology (SM1.1), Geophysical Research Abstract, Vol. 21, EGU2019-3067, 2019, Vienna, Austria.
- Charvátová I., 2010. Long-term relations between the solar inertial motion (SIM) and solar, geomagnetic, volcanic activities and climate : AGU Foz do Iguaçu Brazil 2010.
- Choi D. R., and Maslov L., 2010. Earthquakes and solar activity cycles. *NCGT Newsletter*, no. 57, p. 85-97.
- Dinsmore A., 1920. Possible connection between sunspots and earthquakes. *Science* 14 May 1920: Vol. 51, Issue 1324, pp. 486-487 DOI: 10.1126/science.51.1324.486-a.
- Duma G. and Vilardo G., 1998. Seismicity cycles in the Mt.Vesuvius area and their relation to solar flux and the variations of the Earth's magnetic field. *Phys. Chem. Earth*, 23 (9-10), 927-931. doi:10.1016/S0079-1946(98)00121-9.
- Gribbin I. K., 1974. The next California earthquake. New York. Walker, 1974, 136.
- Gui-Qing Zhang, 1998. Relationship between global seismicity and solar activities. *Acta Seismologica Sinica*, July 1998, Volume 11, Issue 4, pp 495-500.
- Kalinin Y. D., 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.
- Machado F. A., 1973. A hipotese de uma pulsacao de gravitacao com periodo de il anos.-Gareia Orta. *Ser. Geol.* Vol. 1, No.2, 27-35.
- Mazzarella, A. Palumbo A., 1989. Does the solar cycle modulate seismic and volcanic activity? *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 39, No. 1, p. 89 – 93 doi :10.1016/0377-0273(89)90023-1.
- Nikouravan B., 2012. Do solar activities cause local earthquakes? (New Zealand). *IJFPS*, Vol. 2, No.2, pp. 17-20 , Jun, 2012.
- Nikouravan B., Pirasteh S. and S. Mollae, 2013. The effect of solar cycle's activities on earthquake: a conceptual idea for forecasting. *Disaster Advances*, Vol. 6 (4) April 2013.
- Nikouravan, B., Rawal, J. J. Sharifi R. and M. Nikkhah, 2012. Probing relation between solar activities and seismicity. *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 7(24), pp. 3082-3088, 22 June, 2012.
- Odintsov S., Boyarchuk, K. Georgieva K., Kirov B., Atanasov D., 2006. Long-period trends in global seismic and geomagnetic activity and their relation to solar activity. *Physics and Chemistry of the Earth* 31, 88–93.
- Radovanovic, M. Stevancevic M., Milijasevic D., Mukherjee S. and Z. Bjljac, 2011. Astrophysical analysis of earthquake near Kraljevo (Serbia) on 3 November 2010. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA* 61(3) (1-15).
- Shestopalov P. and Kharin E. P., 2014. Relationship between solar activity and global seismicity neutrons of terrestrial origin. *RUSSIAN JOURNAL*

- OF EARTH SCIENCES, VOL. 14, ES1002, doi:10.2205/2014ES000536.
- Simpson I. F., 1968. Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes. *Earth and Planet, Sci. Letter*, v.3, No.5, p.417-425.
- Straser V., 2011. Radio Anomalies And Variations In The Interplanetary Magnetic Field Used As Seismic Precursor On A Global Scale, *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 61, December, 2011.
- Straser V., 2011. Radio Wave Anomalies, Ulf Geomagnetic Changes And Variations In The Interplanetary Magnetic Field Preceding The Japanese M9.0 Earthquake. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 59, June, 2011.
- Straser V., 2012. Can IMF And The Electromagnetic Coupling Between The Sun And The Earth Cause Potentially Destructive Earthquakes?. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 65, December, 2012. Society for Interdisciplinary Studies (SIS).
- Straser V., Cataldi G., 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*. Moscow, Russia.
- Straser V., Cataldi G., 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.
- Straser V., Cataldi G., Cataldi D., 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.
- Straser V., Cataldi G., Cataldi D., 2017. Solar and electromagnetic signal before Mexican Earthquake M8.1, September 2017. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, V. 5, No. 4, December 2017.
- Sytinsky A. D., 1987. Connection of seismicity of the Earth with solar activity and atmospheric processes. Leningrad. Hydrometeoizdat., p. 99.
- Sytinsky A. D., 1989. On the relation between earthquakes and solar activity. *Fizika Zemli*, no. 2, p. 13–30.