

鹿島灘における海洋性哺乳類のストランディングと地震との関係 Correlation between strandings of marine mammals at the Kashima-Nada beach and earthquakes

織原 義明^{1*}; 野田 洋一²; 長尾 年恭³

ORIHARA, Yoshiaki^{1*}; NODA, Yoichi²; NAGAO, Toshiyasu³

¹ 東京学芸大学教育学部物理学科, ² 有限会社テラテクニカ, ³ 東海大学地震予知研究センター

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ., ²Tierra Tecnica Ltd., ³EQ Prediction Res. Center, Tokai Univ.

2011年3月4日に茨城県の鹿島灘でカズハゴンドウのマス・ストランディングがあった。その7日後に東北地方太平洋沖地震が発生したことから、これらの関連性が指摘されることがあった。本研究では鹿島灘におけるストランディングと地震の過去データを用いて統計的な検証を行った。その結果、両者に相関はなく、2011年3月4日のマス・ストランディングは東北地方太平洋沖地震とは関係ないと結論づけた。また、発表当日は地磁気活動と海洋性哺乳類のストランディングとの関係についても言及する。

キーワード: ストランディング, 地震, 鹿島灘, 地磁気擾乱

Keywords: Stranding, Earthquake, Kashima-Nada, Geomagnetic disturbance

地震前兆の電磁波パルスの励起機構とその検出 Excitation mechanism and detection of electromagnetic pulses prior to earthquakes

筒井 稔^{1*}
TSUTSUI, Minoru^{1*}

¹ 京都産業大学
¹ Kyoto Sangyo University

京都産業大学では以前から地中で電磁波が励起されるかどうかを確かめるための観測研究を行ってきたが、周波数が数kHzについては殆ど全てが雷放電によるもので、地中起源の電磁波は全く見つける事が出来なかった。それは地中媒質の電気伝導度が高いために、励起された電磁波は遠距離まで伝搬出来ないためであった。そこで2011年の12月から検出しようとする周波数を25 Hz以下にしたところ、電磁波観測点での震度が1以下であっても地震波により励起された電磁波を検出できる事を確認した。即ち、地震波が伝搬している近傍では常に電磁波が励起されている事を示した。これは地震波の波頭に電磁波放射源が載っていて、電磁波を放射しながら地震波の速度で移動している形を採っていると考えられる。放射された電磁波の地中を進む距離は短い、容易に放射されている事が確実となった。これがMT法での測定でもco-seismic信号として検出される理由である [1]。

上記の電磁波は地震発生後のS波の伝搬時に発生しているものであって、解明したいのは地震発生以前に電磁波が発生するかどうかという問題である。これまでの電磁波観測データを調べたが、地震発生時には電磁波パルスが検出されていない。また岩石破壊実験でもマイクロ波の雑音は検出されているが、低周波の電磁波の励起は見られていない。そこで地震発生以前でも地中において電磁波が励起される可能性がある状況と考え、その検証のための研究を進めた。

地下で電磁波が励起される機構としては岩盤内でのP波成分による一種の共振効果が作用していると考えられている。そこで、岩盤からの電磁波放射を検証するために実験室でその模擬実験を行った。頑丈な木製の台の上に長さが50 cm程度の花崗岩の柱を2本直線状に並べ、その接触面にガラス玉を挟んだ状態としてセットする。そしてこの2本の花崗岩柱の軸に沿って外側から圧力を加えていくと、ある圧力を超えるとガラス玉が破壊される。この時、それまで花崗岩の軸に沿って掛かっていた圧力が急激に無くなる。この時、ガラス玉に接触していた面では負の衝撃が加わった事になる。この衝撃によって、花崗岩内の軸方向にはP波が伝搬する。ある程度の長さを有する花崗岩である場合はP波の振動での共振現象を引き起こす可能性がある。その振動によって強い圧電効果が生じ電磁波が放射されると考えられる。この時、電界と磁界成分の両方を検出した。この実験結果を紹介する。

上記実験状況は実際の活断層を中心とした領域でも生じていると考えられる。活断層の接触面には破碎帯と呼ばれる領域があるが、そこには以前の地殻変動により岩盤から崩れた小岩石が多く存在すると考えられる。このような状況の下で、破碎帯の両側の岩盤に新たな圧力が加わり始めた場合、その圧力が地震を引き起こすよりもはるかに弱い圧力であっても、まず破碎帯にある小岩石が破壊されると考えられる。この時、両側の岩盤には負の衝撃が印加されるので、それにより岩盤内にP波が伝搬する。このP波の振動で岩盤内では圧電効果により電磁波が励起され、外部に放射される。岩盤に掛かる圧力が更に増加していくと、破壊される小岩石の数も増えてきて多くの電磁波パルスが放射される可能性がある。そうして最終的には地震を引き起こす。以上が、地震発生前に観測される電磁波パルス発生の可能性を持った仮説である。

電磁波観測点から西南西の約24 kmの地点で地震が発生した。それによる地震波を電磁波観測点では検出しており、地上の電磁波センサーは磁界成分を検出した。そこでこの日の観測データを精査したところ、地震発生約7時間前に地上センサーによって一つの電磁波パルスを検出していた。この事から、地震発生約7時間前に検出した電磁波は地震の前での小岩石の破壊時に励起されたものではないかと考えられる。

今後はこの種の電磁波の検出データを集め、その強度とその後に発生する地震の規模やその発生するまでの時間との関係等を定量的に調べ、統計的な時間変化の傾向を確立すれば、地震予知の実現に繋がるものと考えている。

[1] Minoru Tsutsui, Behaviors of Electromagnetic Waves Directly Excited by Earthquakes, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 11, No. 11, pp. 1961-1965, 2014.

キーワード: 電磁波パルス観測, 地震前兆, 励起機構

Keywords: observation of electromagnetic pulses, earthquake precursor, excitation mechanism

地震に伴うシューマン共振の異常現象 Anomalous phenomena of Schumann resonances in possible association with earthquakes

早川 正士^{1*}; 太田 健次²; 井筒 潤²; ニコラエンコ A. P.³
HAYAKAWA, Masashi^{1*}; OHTA, Kenji²; IZUTSU, Jun²; NICKOLAENKO, A. P.³

¹ 株式会社 早川地震電磁気研究所, ² 中部大学, ³ 電波物理・電子工学研究所 ウクライナ

¹Hayakawa Inst. of Seismo Electromagnetics Co. Ltd., ²Chubu University, ³Inst. of Radio physics and Electronics, Ukraine

The anomalous behaviour in Schumann resonances was observed at a Japanese station, Nakatsugawa (geographic coordinates: 35.45 degree N, 137.3 degree E), which appeared as an enhancement in the fourth harmonic about one week before the 1999 Chi-chi earthquake (EQ) in Taiwan (Hayakawa et al., 2005). Schumann resonance is a global resonance phenomenon triggered by global lightning activity in the tropic (Nickolaenko and Hayakawa, 2014). A mechanism to explain this anomaly has been proposed with a model in terms of the wave interference between the direct ELF signal from one of the world-lightning centers and that scattered by the seismo-ionospheric perturbation above Taiwan (Hayakawa et al., 2005; Nickolaenko et al., 2006). This case study was extended statistically by using the ELF data observed at Nakatsugawa during 6 years (1999 to 2004) with special reference to EQs in Taiwan (Ohta et al. (2006)). With the criterion of magnitude greater than 5.0, there were observed 33 EQs in and around Taiwan, and the Schumann resonance anomaly is observed for 9 EQs (so that the anomaly percentage is 9/29 (because no observation at Nakatsugawa due to some malfunction of the equipment for 4 EQs)). 29 EQs included 7 EQs in the land, while other 22 EQs took place in the sea. As the result of analysis, anomalous Schumann resonances are observed for all inland EQs. 2 sea EQs from the 22, had the anomalous Schumann resonances, but these two EQs had the following characteristics: one was the largest magnitude and the other the shallowest. This paper discloses the causative link between EQs in Taiwan and anomalous behaviour in Schumann resonance in Japan, and also suggests the land/sea asymmetry in generating the seismo-ionospheric perturbation closely associated with the mechanism of lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling.

References

1. Nickolaenko, A. P. and M. Hayakawa, Schumann resonances for tyros, Springer, 2014.
2. Hayakawa, M., K. Ohta, A. P. Nickolaenko, and Y. Ando, Anomalous effect in Schumann resonance phenomena observed in Japan, possibly associated with the Chi-chi earthquake in Taiwan, *Ann. Geophysicae*, vol. 23, 1335-1346, 2005.
3. Ohta, K., N. Watanabe and M. Hayakawa, Survey of anomalous Schumann resonance phenomena observed in Japan, in possible association with earthquakes in Taiwan, *Phys. Chem. Earth*, vol. 31, 397-402, 2006.
4. Nickolaenko, A. P., M. Hayakawa, M. Sekiguchi, Y. Ando, and K. Ohta, Model modifications in Schumann resonance intensity caused by a localized ionosphere disturbance over the earthquake epicenter, *Ann. Geophysicae*, vol. 24, 567-575, 2006.

キーワード: シューマン共振, 地震, 中津川観測所

Keywords: Schumann resonance, earthquakes, Nakatsugawa observatory

日高地方における VHF 帯の電波伝播異常と地震活動との関係についての統計的考察 A statistical study for relationship between anomalous transmission of VHF band waves and earthquakes at Hidaka area

森田 笙^{1*}; 茂木 透¹

MORITA, Shou^{1*}; MOGI, Toru¹

¹ 北海道大学 地震火山研究観測センター

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

地震の先行現象として、地電流の変化、電離圏の電子数変化、VLF 帯や VHF 帯の電波の伝播異常などが観測されており (Hayakawa, 1996)、観測される先行現象とその後発生する地震との関連性について統計的な考察が行われている。FM 放送波を含む VHF 帯の電波は、観測点周辺で発生する地震の発生前に、普段であれば電波が届かない遠くの放送局からの FM 放送波の散乱波が観測されることがある (見越し外伝播)。本研究では、2012 年から 2013 年までの 2 年間にえりも観測点で観測された、周辺にある 7 地点の放送局からの FM 放送波の見越し外伝播による異常な受信強度データを基に、スποラディック E 層の発生による異常を除き、異常な強度観測後 15 日以内に発生した地震に対する適中率 (電波伝播異常全体のうち特定の日数以内に地震が起こった確率) と予知率 (地震活動全体のうち発生以前の特定の日数内に電波伝播異常が起こっていた確率) (宇津, 1977) を算出し、電波伝播異常と地震活動との関係について統計的に考察を行った。広尾局からの受信データから、ランダムな地震発生の場合に対する適中率または予知率との比である適中率ゲインや予知率ゲインを計算した結果、10 日以内に発生する地震に対して最大のゲイン (M4.0 では 1.5、M>4.5 の場合で 2.5) が得られた。その場合の適中率は、震央距離 100km 以内かつ M4.0 の地震で約 30%、M4.5 で約 15%であった。また、異常強度電波の到来方向による偏りについての検討したところ、観測している FM 放送局が分布する観測点より北側で発生する地震に対するゲインの方が、南側に発生した地震の場合に比べて、大きい傾向が見られた。

キーワード: 前兆現象, 統計的研究, 適中率, 予知率

Keywords: precursory phenomena, statistical study, success rate, alarm rate

2011年東北沖地震発生40分前に始まったGPS-TECと地磁気偏角の前兆変動について On the GPS-TEC and geomagnetic declination precursors

日置 幸介¹; 榎本 祐嗣^{2*}

HEKI, Kosuke¹; ENOMOTO, Yuji^{2*}

¹ 北大院理, ² 信州大学 信州科学技術総合振興センター

¹Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, ²Sinshu Advanced Science and Technology Center (SASTec)

2011 東北沖地震発生の約 40 分前から電離層電子の総数 (TEC) の増加 (Heki, GRL, 2011) とそれに同期した地磁気偏角の正の変動が観測された (Heki & Enomoto, JGR 2013). これに対して、地震発生のあと津波で生じた電離層の擾乱 (Kakinami et al. GRL, 2012; Kamogawa & Kakinami, JGR, 2013) あるいは磁気嵐の影響とする説 (Utada & Shimizu, JGR, 2014; Masci et al. JGR, 2015) が出ている. しかし地震に先行した正の変動はいずれの現象も地震発生ののち約 10 分以内に元に戻っており、この時間帯に磁気嵐の影響を受けているとは考えにくいこと、TEC と地磁気変動との同時性や Wyss の判定条件をほぼ満足していることから、我々は TEC 変動、地磁気変動ともに地震先行現象であると考えている (Heki & Enomoto, JGR, 2013, 2014). 本発表では、上述の磁気嵐影響説に対して再論する.

江刺での水平成分 H の平常値は 29037nT 程度で磁北は真北から西に 6.9° ほど振れている. それが地震発生の約 40 分前から + (東側) に変動し、地震直前時には +0.34 分 (9.9×10^{-5} rad) となった. 地震前兆の磁場変動分を δB とすると、 $\Delta D \ll 1$ なので、 $\delta B \approx H \cdot \Delta D$ 関係が成り立つ. この関係から $\delta B = 29037\text{nT} \times 9.89 \times 10^{-5} \text{ rad} = 2.9\text{nT}$ となり、 ΔH にもその程度の変動 (約 2.0nT) を確認できる (Enomoto & Heki, GJI 投稿中). この前兆変動はピエゾ磁気効果でない. すなわち、'食い違い弾性論' もとづくピエゾ地磁気の変動量は、震源域周辺の江刺辺りで北西方向、大きさは 1nT 程度である (Utada et al. EPSL, 2011). 前述したように江刺での水平成分は真北から西に 6.9° 偏っているため、これとピエゾ地磁気変動ベクトル (真北から 45° 西) とのベクトル和はさらに西向き (~ -0.12 arcmin) になるはずであるが、それだと (+) 側の変動を示した観測事実と合わない.

さらに Utada ら (JGR, 2014) は 3.11 (地震日) の地震直前の 15:10-15:46U.T. と磁気嵐が顕著だった 21:35-21:54 の地磁気偏角の各観測点での + 変動の大きさが観測地点の緯度が高いほど大きいこと、双方の時間帯での偏角変動の相関係数が大きいことを理由に磁気嵐の影響であると主張した. 偏角 ΔD だけでなく伏角あるいは $\Delta (Z/H)$ についても検討する必要がある. 地震直前での ΔD と $\Delta (Z/H)$ の相関係数は 0.138 (相関なし) であったのに対して磁気嵐が顕著な時間帯での相関係数は -0.971 (強い相関) であった. このことは両時間帯で起きている ΔD と $\Delta (Z/H)$ の変動は同じ原因といえないことを示唆している.

上述の前兆現象を説明するメカニズムについては現在投稿中である (Enomoto & Heki, GJI).

キーワード: 2011 東北沖地震, 電離層全電子数, 地磁気偏角, 前兆現象

Keywords: 2011Tohoku-Oki earthquake, ionosphere total electron content, geomagnetic declination, precursors

磁気嵐に起因する電離圏擾乱 (TEC) の統計的性質と地震に起因する電離圏擾乱との 弁別手法の提案

Statistical characteristics of the Ionospheric TEC disturbances over Japan area

本間 彩乃^{1*}; Han Peng²; 服部 克巳²; 劉 正彦³
HONMA, Ayano^{1*}; HAN, Peng²; HATTORI, Katsumi²; LIU, Jann-yenq³

¹ 千葉大学理学部, ² 千葉大学大学院理学研究科, ³ 台湾国立中央大学

¹Faculty of Science, Chiba University, ²Graduate School of Science, Chiba University, ³National Central University, Taiwan

近年、地震活動に先行する様々な電磁気現象が報告されており、地震の短期予測の可能性が指摘されている。先行研究によって、中磁気緯度地域の日本において、地震の前に正の TEC 異常が有意に出現することが明らかとなっている。先行研究では地磁気嵐に起因する TEC 異常を除去するために、統計的に定めた地磁気擾乱期間を解析除外期間としていた。しかしより正確な期間を取り除くためには、地磁気嵐期間ではなくそれに基づく電離圏擾乱期間を除去する必要がある。そこで本研究では、日本地域における地磁気嵐に起因する電離圏擾乱の性質を調査した。

地磁気嵐に起因する電離圏擾乱期間を統計解析するために、まず 1998~2013 年に発生した 294 個の地磁気嵐をその大きさ (較差) とローカルタイムで分類をした。この分類クラスごとに地磁気嵐に起因する電離圏擾乱の平均的な変動を調査するために、GIM-TEC*時系列データを用いて地磁気嵐発生日の 2 日前から 5 日後のデータを抽出した。ブートストラップ法 (復元抽出回数 10000 回) を用いて同時刻の TEC*値の平均値を算出し、地磁気擾乱に起因する電離圏擾乱の性質を調査した。その結果地磁気嵐の大きさが大きいほど正の TEC 異常が大きくなることや、地磁気嵐の発生時間と電離圏擾乱の発達の関連性がわかった。

キーワード: 統計解析, 地磁気嵐, 電離圏擾乱, ブートストラップ法, 地震

Keywords: statistical analysis, geomagnetic storm, Ionospheric TEC disturbances, bootstrap method, earthquake

地震先行下部電離層擾乱と地震の発震機構との関係 The role of earthquake source parameters in the subionospheric VLF/LF anomalies before main shock

河野 友紀^{1*}; 龍田 健心¹; 芳原 容英¹
KAWANO, Tomoki^{1*}; TATSUTA, Kenshin¹; HOBARA, Yasuhide¹

¹ 電気通信大学大学院情報理工学研究所

¹ Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

大地-電離層間を導波管伝搬する VLF/LF 帯送信電波の伝搬路付近にて下部電離層が擾乱されると送信電波の振幅・位相に顕著な変化が生じる。地震に先行する電離層擾乱の観測例は現在までに多々報告されているが、おのおのの地震に先行する擾乱は、比較的大きなマグニチュードかつ震源の浅い地震においても必ずしも観測される訳ではない。また、地震先行電離層擾乱の発生機構は未だ明らかではない。そこで本研究では、地震 CMT 解及び震源データを元に地震をタイプと発生場所で分類し、地震に先行する下部電離層擾乱の検出率を導出した。その結果、逆断層型地震に先行する電離層擾乱は、正断層型や横ずれ断層型地震に比べより顕著に発生することが判明した。また、陸上のみならず海底にて発生した地震に対しても逆断層型の地震に対応する電離層擾乱の発生頻度が卓越している事が分かった。このことは地圏-電離圏結合過程において、3つのタイプの地震のうち、比較的岩盤に大きな力が加わる逆断層型の地震が大きな役割を担っており、従来の研究に用いられてきた地震のエネルギーや深さのみならず、今回初めて注目した地震のタイプ・発生場所など、地震の発生に係るより詳細な情報が擾乱発生機構を解明に重要である事を示唆している。

キーワード: 電離層擾乱, VLF/LF 送信局, 地震, CMT 解

Keywords: ionospheric perturbation, VLF/LF transmitter, earthquake, CMT solution

地震に先行する下部電離圏擾乱の統計的研究 Statistical study of pre-seismic subionospheric disturbance observed by the DEMETER and ground-based measurements

須藤 雄志¹; 東郷 翔帆^{1*}; 鴨川 仁¹; Berthelier Jean-Jacques²; 児玉 哲哉³
SUTO, Yushi¹; TOGO, Shoho^{1*}; KAMOGAWA, Masashi¹; BERTHELIER, Jean-jacques²; KODAMA, Tetsuya³

¹ 東京学芸大学教育学部物理学科, ²LATMOS, France, ³ 宇宙航空研究開発機構宇宙利用ミッション本部地球観測研究センター

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ., ²LATMOS, France, ³Earth Observation Research Center, Space Applications

地震に関連する電磁気現象として大気圏および電離圏擾乱は1980年代後半ごろから指摘されてきた。これらの現象は短期地震予測への利用が期待されるが、変動が非常に微小であることやマグニチュードの大きな地震に対してのみ観測されることから、大量なイベント収集による統計的な解析が不可欠とされる。地球上の無数の地点で発生する地震に対してこれらの現象を効果的に収集する手段として衛星観測が挙げられる。特に近年は2004年6月にフランスCNESによって地震電磁気衛星 DEMETER が打ち上げられ、地震に先行する夜間 VLF 帯電磁波強度減少現象が統計的結果として得られている。Nêmecらは DEMETER によって得られた電場データを解析し、震央上空における夜間 VLF 帯電磁波強度が周波数 1.7 kHz 周辺において地震発生前の4時間以内に4~6 dBほど減少するという規則性を指摘した。この周波数帯の電磁波は落雷によって発生する背景電磁波とみられ、下層電離圏異常が電磁波の伝搬に何らかの影響を与えると解釈される。本研究においては地震先行的な電磁波強度減少を統計的に検証および発生メカニズムの検討を行う。その結果、本現象を検知したと思われる数軌道の時系列解析によれば、地震への接近にしたがって強度減少が起きている事例を確認した。本現象は観測した周波数帯のバックグラウンドである落雷数との相関がみられなかったことから、電離圏下層擾乱が発生メカニズムとして考えられる。

キーワード: 地震, 下部電離圏擾乱, DEMETER 衛星

Keywords: Earthquake, Subionospheric disturbance, DEMETER

Development of Early Warning System for Crustal Activity: Detection of Preparation Process using Multiple-Observation
Development of Early Warning System for Crustal Activity: Detection of Preparation Process using Multiple-Observation

服部 克巳^{1*}; Han Peng¹
HATTORI, Katsumi^{1*}; HAN, Peng¹

¹ 千葉大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Chiba University

房総半島南部は元禄関東大地震や約5年間隔で発生する slowslip の震源域である。また2011年東北地震以降、銚子付近等の地震活動も活発化している。千葉大学の南房総 ULF 電磁場観測点網は slowslip 域近傍にあり、2002年と2007年の slowslip イベントでは異常変動を記録し、波形解析やシミュレーションの結果、地下流動に起因する変動であることがわかった。また11年間の統計解析により地震に先行して ULF 磁場強度が有意に増加することがわかった。また、電離圏電子数変動の統計解析では、本州地域では地震の前5日間に総電子数が有意に増加することがわかった。そこで、震源域に近い地域で複合観測を展開する。観測された電磁場異常変動と地殻変動との関係を観測学的/実証論的に検証し、その発生機構を解明し、地震準備過程や前兆現象を監視する手法を開発する。