

火山流体のモニタリングと
深部マグマ上昇メカニズムの解明

**Monitoring of the volcanic fluid system and
elucidation of the deep-magma ascent mechanism**

(研究課題番号 15204040)

平成 15 年度～平成 18 年度科学研究費補助金 (基盤研究 A)
Grant-in-Aid for Scientific Research (A) (FY2003-2006)

研究成果報告書
Final Report

2008 年 5 月
May, 2008

研究代表者： 川勝 均
(東京大学・地震研究所 教授)

Principal Investigator: **KAWAKATSU Hitoshi**
(Professor, Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

<背表紙>

火山流体のモニタリングと深部マグマ上昇メカニズムの解明

Monitoring of the volcanic fluid system and elucidation of the deep-magma
ascent mechanism

川勝 均（東京大学地震研究所）

H. Kawakatsu

2008年5月

May, 2008

はじめに

本研究では、火山の噴火に伴うマグマ・ガス・水などのものの流れを主に地震学的にとらえることで、阿蘇火山の噴火の準備過程、噴火過程、終息過程における物質の移動を定量化し、噴火のダイナミクスの理解を深めること、さらに阿蘇火山における将来の定量的火山噴火予測への道しるべとすることを目標とした。すでに判明している火山活動静穏期にみられる火山構造とその活動機構が、火山活動期にどのような変動を示すかを把握することを目指し、具体的には次のような目標を掲げた：

(1) マグマ溜まりの変動把握 (マグマ溜まりへのマグマの蓄積過程、あるいはマグマ溜まりから火口へ移動の検出) および定量化, (2) 火道を通るマグマ流動 (上昇)・噴火時における高速ガス・土砂流等の検知および定量化, (3) 長周期微動源 (圧力源) の変動のリアルタイム・モニタリングによる地表表面 (噴火) 活動の予測.

上記の目標を達成するために、(1) 中央火口丘周辺の 11 カ所で GPS による連続観測をおこない、国土地理院の 3 観測点を含む計 14 点でマグマだまりの圧力変動をモニターした。(2) ガスの流れ等のモニターのため、短周期地震計アレイ観測を頻繁におこなった。(3) 広帯域観測網をテレメータ化し、長周期微動源のリアルタイムモニターを開始した。

幸か不幸か、研究期間中に阿蘇山が活動期に入らなかったため、噴火に至る過程は観測できなかったものの、(1) アレイによる火山流体の高速移動の観測と発達した浅部火道システム存在の実証、(2) 長周期微動 (卓越周期 15 秒) と孤立型の短周期微動の関連を明らかにし、阿蘇火口直下の熱水系と一連の火山性微動を統一的に説明するモデルを構築、(3) 境界積分法に基づく火山性微動解析の普遍的ツールの開発等、数多くの成果が得られた。

今後は、構築された観測網を維持し、阿蘇火山の活動期をとらえ当初の目標達成を継続的に目指す予定である。

Preface:

This is the final report of the research project entitled "Monitoring of the volcanic fluid system and elucidation of the deep-magma ascent mechanism" conducted under the grant Grant-in-Aid for Scientific Research (A) (No. 15204040) supported by the Japan Society for the Promotion of Science (JPSP).

研究組織：

研究代表者：川勝 均 (H. Kawakatsu, 東京大学地震研究所・教授)
研究分担者：須藤 靖明 (Y. Sudo, 京都大学・大学院理学研究科・助教授)
研究分担者：大倉 敬宏 (T. Ohkura, 京都大学・大学院理学研究科・助教授)
研究分担者：宇津木 充 (M. Utsugi, 京都大学・大学院理学研究科・助手)
研究分担者：金嶋 聰 (S. Kaneshima, 九州大学・大学院理学府・教授)
研究分担者：山本 希 (M. Yamomoto, 東北大学・大学院理学研究科・助手)
研究分担者：橋本 武志 (T. Hashimoto, 北海道大学・大学院理学研究科・助教授)
研究分担者：大湊 隆雄 (T. Ominato, 東京大学地震研究所・助教授)
研究分担者：及川 純 (J. Oikawa, 東京大学地震研究所・助手)

研究経費	直接経費	間接経費	合計
平成 15 年度	1560 万円	468 万円	2028 万円
平成 16 年度	870 万円	261 万円	1131 万円
平成 17 年度	410 万円	123 万円	533 万円
平成 18 年度	380 万円	114 万円	494 万円
計	3220 万円	966 万円	4186 万円

研究発表：

(1) 学会誌等

- Miyazawa, M., I. Nakanishi, Y. Sudo and T. Ohkura, Dynamic response of frequent tremors at Aso volcano to teleseismic waves from the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, *J. Vol. Geothermal Res.*, 147, 173-195, 2005.
- Hase, H., T. Hashimoto, S. Sakanaka, W. Kanda, Y. Tanaka, Hydrothermal system beneath Aso volcano as inferred from self-potential mapping and resistivity structure, *J. Vol. Geothermal Res.*, 143, 259-277, 2005.
- Iwamura, K., and S. Kaneshima, Numerical simulation of the steam-water flow instability as a mechanism of long period ground vibrations at geothermal areas, *Geophys. J. Int.*, 162, 833-851, 2005.
- Takagi, N., S. Kaneshima, H. Kawakatsu, M. Yamamoto, Y. Sudo, T. Ohkura, S. Yoshikawa, T. Mori, Apparent migration of tremor sources synchronized with the changes in the tremor amplitude observed at Aso volcano, Japan, *J. Vol. Geothermal Res.*, 154, 181-200, 2006. (報告 1)
- Kawakatsu, H., and M. Yamamoto, Volcano Seismology, *Treatise on Geophysics*, Elsevier, vol. 4, 289-420, 2007. (報告 2)
- Kanda, W., Tanaka, Y., Utsugi, M, Takakura, S., Hashimoto, T., Inoue, H., A preparation zone for volcanic explosions beneath Naka-dake crater, Aso volcano, as inferred from magnetotelluric surveys, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.01.022, 2008.
- Yamamoto, M., and Kawakatsu, H., An efficient method to compute the dynamic response of a fluid-filled crack, *Geophys. J. Int.*, *in press*, 2008. (報告 3)
- Terada, A., Hashimoto, T., Kagiya, T., Sasaki, H., Precise remote-monitoring technique of water volume and temperature of a crater lake in Aso volcano, Japan: Implication for a sensitive window of volcanic hydrothermal system, *Earth, Planets and Space*, *in press*, 2008.
- Yamamoto, M., Kawakatsu, H., S. Kaneshima, Y. Sudo, and N. Takagi, Seismic signature of fluid motion in a shallow conduit system beneath Aso volcano, Japan, *to be submitted to J. Vol. Geothermal Res.*, 2008. (報告 4)

(2) 出版物：

須藤 靖明, 漱石・白秋・清張と阿蘇火山—26人の文学作品にみる火山活動—, 樺歌書房, pp. 144, 2004.

(3) 参考文献：

- 山本 希, Volcanic fluid system inferred from broadband seismic signals, 東京大学大学院理学系研究科, 博士論文, 平成16年度.
- 池田 さや香, 阿蘇火山における長周期微動の時間変化—2002年～2004年—, 京都大学大学院理学研究科, 修士論文, 平成16年度. (報告 5)

阿蘇火山における地震および GPS 観測網について

京都大学火山研究センター 大倉敬宏

本科学研究費補助金では、新たに広帯域地震計 (CMG-3T) 1 台、データロガー (LS-7000XT) 5 台、2 周波 GPS 受信機 (Topcon Legacy) 3 台が購入され、これまでの機材と合わせて阿蘇火山周辺の観測網が整備された。 図 1 は、本研究で整備された観測点の分布図である。赤丸、黒四角がそれぞれ、広帯域地震計、GPS の観測点を表している。また、本堂 (HND) の観測坑道内に短周期地震計アレイが設置された (図 2)。

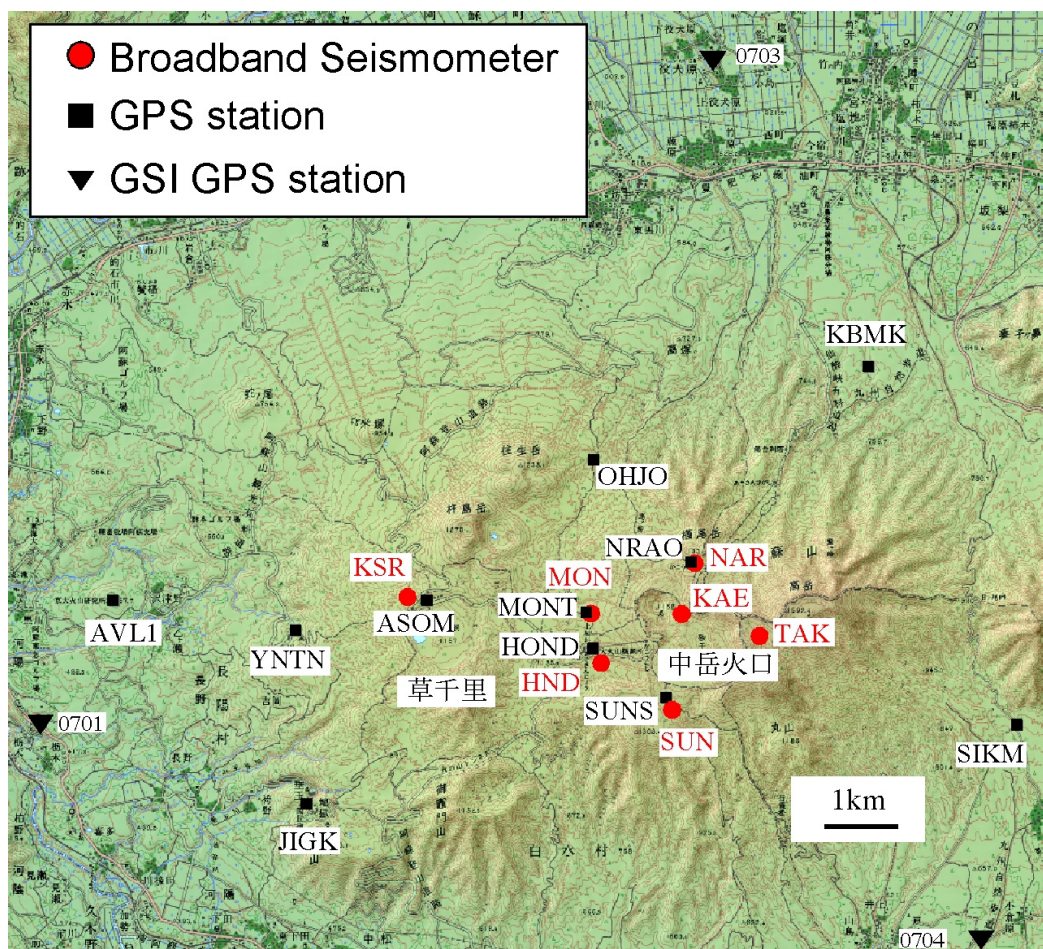


図 1 GPS 観測点および広帯域地震観測点の分布図。●が広帯域観測点、■が GPS 観測点、▼は国土地理院の GPS 観測点を表わす。HND には観測坑道があり、その中に STS1 と短周期地震計アレイが設置されている (図 2 参照)。

地震観測網

本研究以前より、図 1 の HND、TAK、SUN、NAR の 4 ヶ所において現地収録方式の連続観測が行われていた。このうち HND のデータのみが、12GHz 多重無線により本堂観測所から火山研究センターまでテレメータされていた。

そこで本研究では、長周期微動源をリアルタイムモニターするため、広帯域観測網のテレメータ化を行なった。テレメータ化の要点は以下の 3 項目である。

1. 無線 LAN および地域インターネット網を用いた本堂観測所 (HOND) と火山研究センターの LAN 接続。
2. REFTEK に換えて、テレメータ機能を有するデータロガー (LS-7000XT) の設置。
3. 既存のメタルケーブルと DSL モデムを利用した LAN 接続。

まず、本堂観測所 (HOND) および火山博物館 (ASOM) に無線 LAN 機器 (Root RGW2400/ID) が設置され、HOND-ASOM 間が LAN 接続された。次に、火山博物館と地域インターネットの拠点である阿蘇テレワークセンターとの間が NTT のメガデータネットにより接続された。阿蘇テレワークセンターと火山研究センターとの間はずでに QT ネットの光ケーブル網により V-LAN 接続されていたので、これで本堂観測所と火山研究センター間が LAN 接続されたことになる。

一方、本堂観測所と砂千里 (SUN) 間および砂千里と火口東 (KAE) 間の LAN 接続には既存のメタルケーブルが利用された。各観測点間にはメタルケーブルが敷設されており、短周期地震観測に利用されている。本研究ではその空き線を利用し、DSL モデムを設置することにより、観測点を LAN 接続した。また、高岳 (TAK)、櫛尾 (NRA) にも DSL モデムを設置し、一部の区間で既存ケーブルを利用し、さらに無線 LAN を利用する事で、両観測点のテレメータ化が図られた。

現在、HND, SUN, KAE, TAK
そして NAR のデータが火山研究センターまでリアルタイム伝送され、Win システムを用いた波形収録が行われている。さらに、本堂観測坑道内の短周期地震計アレイのデータも同じように火山研究センターまで伝送されている。

これらテレメータ観測点以外でも連続観測が行われており、それらをあわせた広帯域観測点リストを表 1 にまとめた。

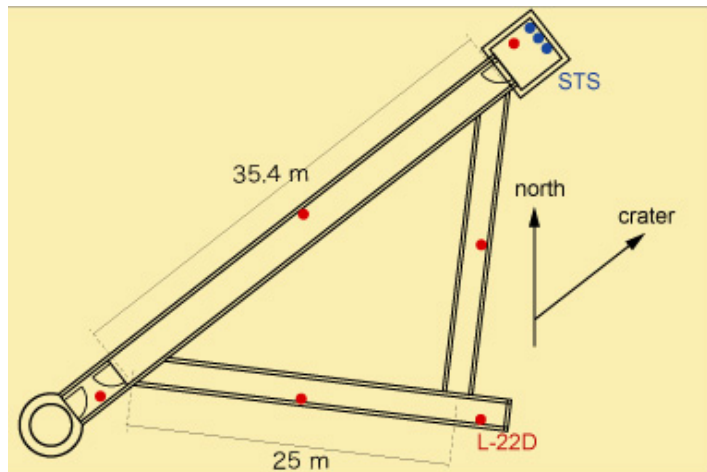


図 2。本堂観測坑道内の地震計配置図。伸縮計、水管傾斜計以外に 1 台の広帯域地震計 (STS1) と 6 台の短周期地震計 (L-22D) が設置されている。

Station	Sensor	Recorder	Sampling Freq.	Longitude(deg.)	Latitude(deg.)	Elevation(km)
HND	STS-1	LS-7000XT	100Hz	32.8785	131.0774	1.14
SUN	STS-2	LS-7000XT	100Hz	32.8734	131.0869	1.24
KAE	CMG-40T	LS-7000XT	100Hz	32.8846	131.0894	1.28
TAK	STS-2	LS-7000XT	100Hz	32.8817	131.1000	1.45
NAR	Trillium	LS-7000XT	100Hz	32.8899	131.0900	1.27
KSR	CMG-3T	LS-8000WD	20Hz	32.8867	131.0499	1.13
MON	CMG-40T	LS-8000WD	20Hz	32.8839	131.0745	1.15

表 1。広帯域地震観測点リスト。座標は WGS84 に基づく。

GPS 観測網

草千里下 6 km の地震波低速度領域に存在すると考えられているマグマ溜まりの変動把握 (マグマ溜まりへのマグマの蓄積過程)、あるいはマグマ溜まりから火口へ物質移動の検出を目指して、本研究では GPS の連続観測を実施した (図 1)。表 2 に観測点リストを示す。これらの観測点うち 8 点では過去にキャンペーン観測が行われたが連続観測は今回の研究が初である。

STATION	CODE	Latitude(deg.)	Longitude (deg.)	Height(m)	Receiver	Operation
Kazanken	AVL1	32.88612	131.00628	600.6903	Topcon GP-R1DY	2003.12-
Hondo Observatory	HOND	32.87969	131.07602	1199.5299	Topcon GP-R1DY	2003.12-
Kazan Hakubutsukan	ASOM	32.88547	131.05196	1192.3110	Leica SR520	2003.12-
Sikimi	SIKM	32.87045	131.13711	810.9516	Topcon GP-R1DY	2003.12-
Koborimaki	KBMK	32.91366	131.11572	678.7831	Ashtech Micro Z	2003.12-
Mount Car Road	MONT	32.88393	131.07452	1177.4634	Topcon Legacy	2003.12-
Narao	NRAO	32.88993	131.09004	1311.0223	Leica SR520	2003.12-
Yunotani	YNTN	32.88178	131.03298	807.8146	Leica SR520	2004.03-2007.06
Jigoku Onsen	JIGK	32.86094	131.03453	721.2099	Topcon Legacy	2004.07-
Ohjo Dake	OHJO	32.90233	131.07601	987.3324	Topcon Legacy	2004.07-
Sunasenri	SUNS	32.87417	131.08647	1283.0834	Ashtech Micro Z	2004.07-

表 2。GPS 観測点リスト。座標は WGS84 に基づく。

表 2 に示されているように、まず 2003 年 12 月から 7 点における観測が開始された。そして、2004 年 3 月に 1 点、2004 年 7 月に 3 点が増設された。しかし 2007 年 6 月に、湯の谷観測点 (YNTN) において、建造物の影響で観測の継続が不可能になり、現在は阿蘇中央火口丘の東西 12km×南北 6 km にわたる地域の 10 観測点で連続観測が行われている。

当初はすべて現地収録方式でサンプリング間隔は 30 秒であった。しかし、地震観測網整備による観測点 LAN 化などにより、現在では AVL1、HOND、SIKM、KBMK、SUNS の観測点ではオンラインによる観測データ収集が可能である。また、AVL1、HOND、SIKM、SUNS、ASOM、NRAO において 1 秒サンプリングによる観測が行われている。

データ解析の際には、国土地理院の電子基準点 (阿蘇カルデラ内の 960701, 960703, 960704) の RINEX データも使用した。そして、IGS 精密暦を用い、GPS データ解析ソフトウェア Bernese4.2 による基線解析を行なっている。

手順として、まず 960701 (長陽) の座標を、国土地理院による解析結果である日々の座標値 (F2 解析結果) に固定し、長陽と各観測点との基線解析をおこない、各点の日々の座標値を求めた。なお、大気圏遅延量は各観測点で 2 時間ごとに推定されている。求めた座標のうち、960703 および 960704 のものとそれらの F2 解析結果を比較したところ、両者の差は非常に小さいことから、その他の観測点の決定精度も高いことが推察される。

2007 年 12 月 31 日までの解析結果の一部を図 3 に示す。それぞれ AVL1-SIKM、KBMK-SIKM、AVL1-KBMK の基線長変化図である。2004 年 1 月および 2005 年 4 月には小規模な噴火 (土砂噴出) が発生したが、それに伴う顕著な地殻変動は検出されていない。

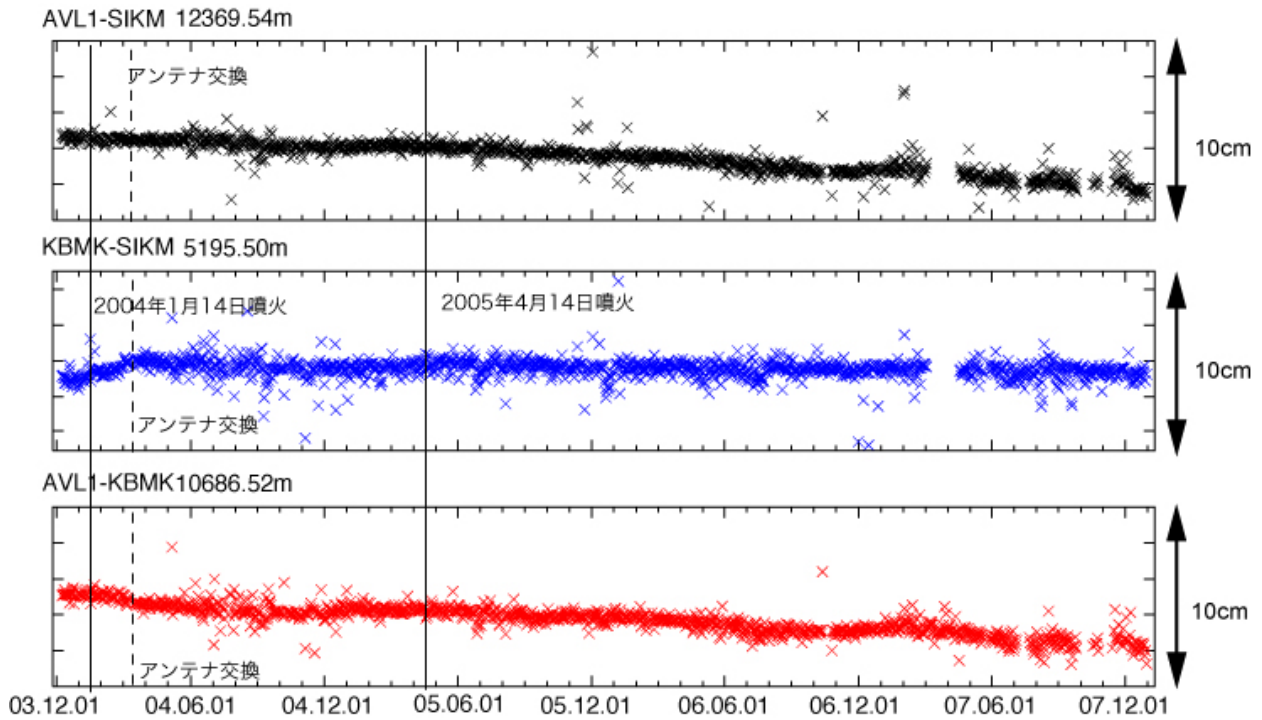


図3 AVL1-SIKM、KBMK-SIKM、AVL1-KBMKの基線長変化図。2004年4月の変化はアンテナ交換によるもの。

長期的には、東西に長い AVL1-SIKM、AVL1-KBMK とともに4年間で約3cm縮んでいるのに対し、南北に長い KBMK-SIKM ではほとんど変化がないことが分かる。この傾向は、1999年から2001年のGPSキャンペーン観測で得られた結果(中坊・他(2001))と調和的である。

須藤・他(2006)は、水準測量データを解析し、中岳火口の西3km(草千里)の地下4-6kmを中心とする収縮力源の存在を報告している。しかし、図4からは長期的には AVL1-HOND の基線長が約2cm、HOND-SIKM の基線長も4年間で約1cm縮んでいることがわかる。後者の変動は AVL1 と HOND 間に存在する収縮力源のみでは説明できない。また、東西方向の

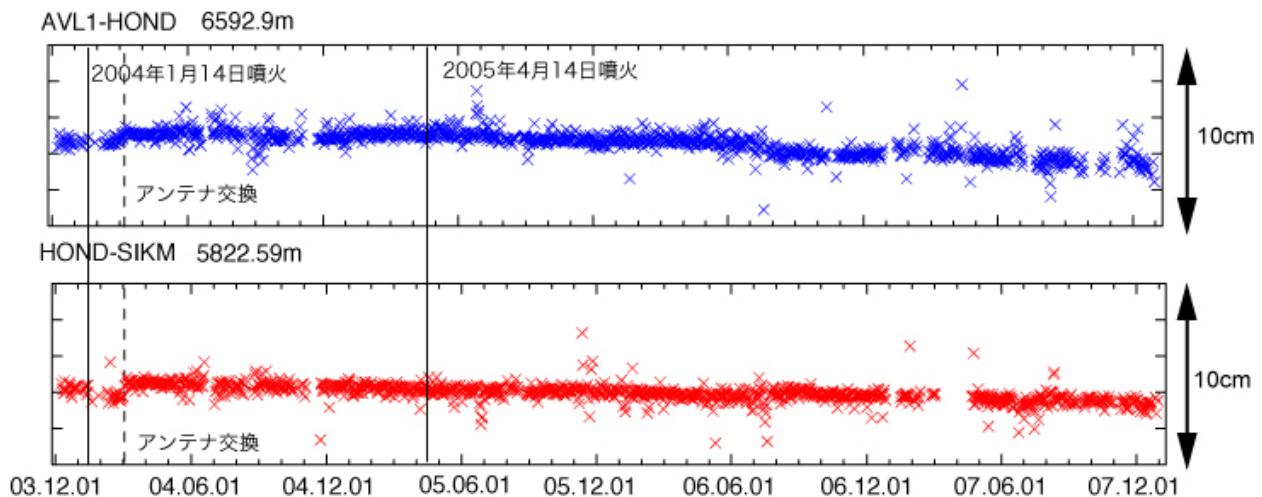


図4 AVL1-HOND、HOND-SIKMの基線長変化図。2004年4月の変化はアンテナ交換によるもの。

strain rate を 10^{-7} /year としてもテクトニックな変形では説明できず、他にも変動にも存在している事が示唆される。今後も注意深く観測を継続していくことが重要である。

短周期アレイ観測に基づく研究のまとめ

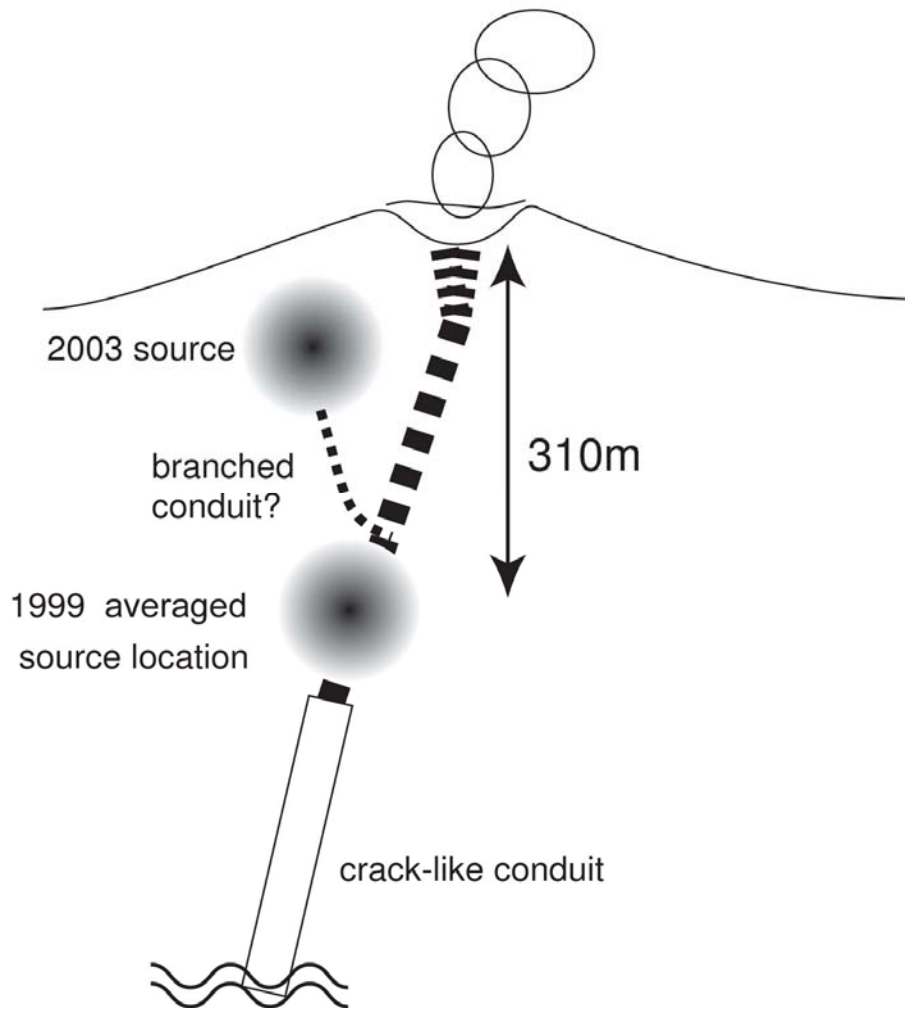
九州大学 金嶋 聡

活動的火山では、火山性流体が火道を通して上昇し、地表に達した時点で噴火が起こる。火山直下の火道システムの研究は、火山学において中心的なテーマであるが、地表から地下数百 m 程度のごく浅い場所の火道システムについては、これ迄意外に明らかになっていないのが現状である。火山活動の展開の予測に重要な火道の形状とそこを通る流体の流れの実態と機構に関して、従来の研究と比べて本質的に新しい情報を与えるために、本研究では、火山ガス流の時間的变化の把握を中心的な目標とした。

具体的には、阿蘇山で連続的に発生する火山性微動について短周期地震計アレイ観測と地震波形アレイデータ解析を行い、その震源の特徴を明らかにすると共に、地下 300m 以浅の火道システムについて考察した。その結果、火山性微動源は数十秒という短い時間スケールで見かけ上移動する事が明らかになった。またこの見かけ移動は、特定の周波数でより明瞭に認められることも分かった。この観測は、微動源が火口付近に少なくとも二つ存在し、各々が水平方向に数百メートル離れている事、そしてそれらで励起される地震波の振幅が様々な時間スケールで変動する事を意味する。浅部火道システムは地表の噴気活動から推測されるよりもずっと広く発達しており、またダイナミックに変化している事が示唆される。

これまでに1999年、2001年、2002年、2003年、2004年と数回にわたる臨時アレイ観測を行ったが、それらの観測において取得した火山微動のアレイデータ処理を進めた結果、火山ガス流路が火口直下深さ300m付近で複数に分岐している事が示された。浅部火道システムは地表の噴気活動から推測されるよりもずっと広く発達しており、またダイナミックに変化しているのである。過去の臨時アレイ観測の結果から火山微動の長期間における振る舞いをさらに詳細に研究し、阿蘇山で連続的に発生する火山性微動についてその震源の特徴と地下 300m 以浅の火道システムについて考察した結果、次のことが分かった。①微動源は火口付近に複数存在する。②それらの相対的な活動度は時期によって大きく変動する。③さらに阿蘇火山の活動が高まり、特に小規模な爆発が発生する時(例えば2003年夏)には、より浅い微動励起源からの地震波がより卓越するようになる(付図参照)。

一方で、阿蘇山において火山性微動の地震計アレイによるリアルタイムモニタリングを開始した。京都大学火山研究センターの本堂地下坑道に2HZ地震計6点からなるアレイを設置して連続的な微動位置決定に着手した。今回構築された連続アレイモニターシステムを今後さらに拡充することによりこれらの微動源の活動の時間的变化がより明らかになり、火口直下の火道構造とそこを通る火山ガスあるいはマグマの振る舞いがそれらの時間変化を含めて解明されていく事が期待される。



阿蘇火山浅部流体系の地震学的解明

東北大学 山本 希

阿蘇火山において観測される火山性微動の大きな特徴は、幅広い周期帯(周期 0.1 秒～15 秒)に渡る多様な微動の存在と、それら微動の同期発生にある。特に、古くは Sassa(1933)に示されている長周期微動は、15 秒という特異ともいえる基本周期を持つものであり、その発生メカニズムを明らかにすることは阿蘇火山直下で起きているマグマ・熱水活動の理解に大きな意義を持つと考えられる。

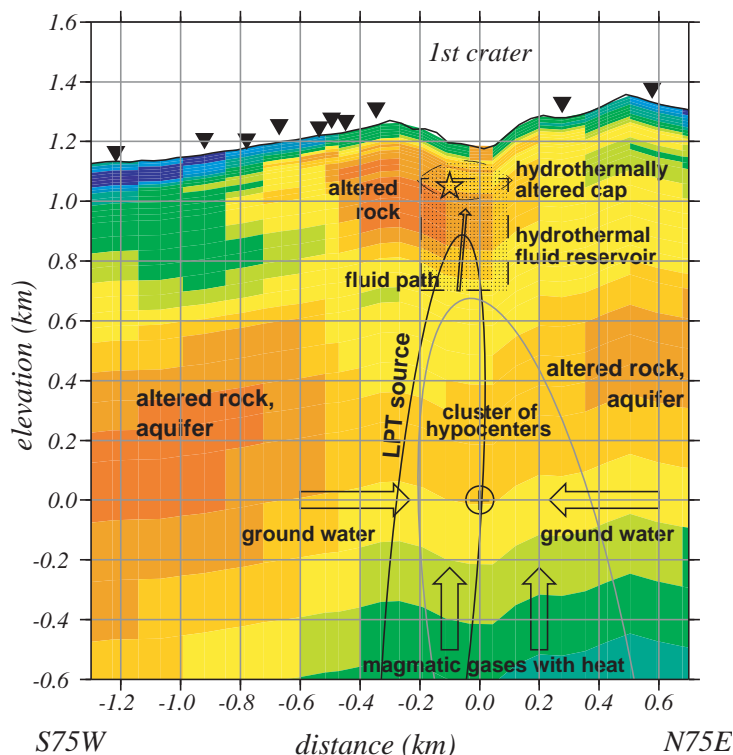
本研究グループでは、これまで広帯域地震計稠密観測などにより長周期微動の発生位置・力源などを明らかにしてきたが(e.g., Kawakatsu et al, 2000), 本研究では更にその物理的実体を解明し火山活動における位置付けを明らかにすることを目指し、広帯域地震観測網の展開・維持を行うと同時に、長周期微動を生み出す物理プロセスの数値計算手法の開発を行った。また広帯域地震観測と並行して短周期地震計アレイ観測を行い、長周期微動と同期して発生することが知られている孤立型短周期微動(卓越周波数 2Hz)の発生位置の特定・震源メカニズムの推定を行った。この結果、(1)長周期微動は、阿蘇火山火口直下に存在する亀裂状火道において、火山深部から地表へと流動する火山性流体が火道壁と弾性的相互作用を起こすことにより生じ、(2)長周期微動の振動に伴う亀裂状火道内の火山性流体の擾乱が、亀裂状火道上端における増圧を引き起こし、孤立型短周期微動を生じさせる、という火山性流体の運動によって一連の火山性微動を統一的に説明するモデルの構築に至った。また、このような火山性流体と長周期微動との関係を踏まえ、過去の観測記録を再検討した結果、長周期微動の波動特性(周期)と火山活動との間に明瞭な相関があることが明らかとなった。これらの成果の概略を以下に記す。

【長周期微動源の物理的描像の構築】

1994年に始まる本研究グループの阿蘇火山での広帯域地震観測は、長周期微動(周期 15 秒)の発見(e.g., Kaneshima et al., 1996)や長周期微動源としての火口直下の亀裂状火道の検出(Yamamoto et al., 1999)といった成果を挙げてきた。この長周期微動は、15 秒の基本周期の他に、7 秒、5 秒とその高調波を含み、Sassa(1935)によって発見された第 2 種微動(周期 3.5～8 秒)に対応した現象と考えられている。しかしながら、これまでの地震学的観測では、力源モデルとしての長周期微動源の描像は構築できたものの、その物理的実体の理解は十分なものでなかった。そこで本研究では、我々が検出した亀裂状火道のサイズにおいて 15 秒という周期を実現し得るモデルとして弾性体中にある流体を含む亀裂の振動を取り上げ、その振動特性の詳細な検討を行い、火道内流体の物性に制約を加えより物理的な描像を地震学的に構築することを目指した。

本研究では、このような流体亀裂振動の数値解法として、これまでの差分法を用いた方法より精度良く効率的な計算を安定に行うことができる境界積分法を用いた流体亀裂の数値解法を開発し (Yamamoto and Kawakatsu, 2008: 報告 3), 長周期微動源のモデリングへ適用を行った。この結果、火口直下の亀裂状火道はガス成分に富むガスと火山灰の混合物に満たされていることが明らかになり、長周期微動源が火山深部からの高温の火山性流体の流路の一部であることが示めされた。このような高温火山性流体の深部からの流路の存在は、本研究グループの電磁気学的な観測によってもまた示唆されている。Hase et al.(2005)は火口周辺域の自然電位観測か

ら火口直下に強い正の帯電域を検出し、電荷の移動を伴う火山性流体の上昇流の存在を明らかにし、[Kanda et al., \(2008\)](#)は電磁気(AMT)を用いた比抵抗マッピングによって海拔面付近に存在する帯水層が高温火山性流体の上昇により火口直下で途切れていること等を明らかにした(図1)。



以上のように本研究では、地震学的手法により阿蘇火山火口直下の長周期微動源の実体を物理モデルに基づいて定量的に解釈し、電磁気学的手法による結果等とあわせ長周期微動源の物理的描像を構築することに成功した。

図1: 阿蘇火山直下の比抵抗構造 (Kanda et al., 2008 に加筆・修正)

【長周期微動・孤立型短周期微動相互作用の解明】

前述のように、長周期微動の存在とともに阿蘇火山における微動活動の特徴に、異なる種類の微動の同期発生が挙げられる。このような微動の連動は、[Sassa\(1935\)](#)や[Churei\(1985\)](#)等これまでも長年に渡り報告がなされているが、その物理的メカニズムの検討はなされていない。そこで本研究では、長周期微動に同期して発生する孤立型短周期微動(卓越周波数 2Hz)の発生様式を特定し、長周期微動との関連性、そして火山活動における位置付けを明らかにすることを目指した。

本研究では、1999年に本研究グループが行った短周期地震計アレイ観測のデータおよび火山構造探査計画の一環として1998年に行われた人工地震探査のデータを用いて、孤立型短周期微動の発生位置・震源メカニズムの解析を行った。この結果、孤立型短周期微動は、現在活動中の第一火口の南西数百m、深さ約600mで発生しており、その力源はほぼ鉛直の円筒状震源の体積膨張・収縮成分が卓越することが明らかになった([Yamamoto et al., 2008: 報告4](#))。求められた震源位置は長周期微動源である亀裂状火道の上端付近に対応しており、また孤立型短周期微動の震源メカニズムに体積変化成分が卓越することは、長周期微動と孤立型短周期微動が流体の運動を介して力学的に結びついていることを示唆している(図2)。このような視点から、本研究では更に前項の流体亀裂の数値モデリングを用いて長周期微動に伴う流体の運動を検討し、

長周期微動の振動が開始した約 2 秒後に亀裂状火道上端で圧力増加が起き、その圧力増加量は孤立型短周期微動源を定性的に説明し得ることを明らかにした。

以上のように、本研究では、長周期微動・孤立型短周期微動の発生位置・メカニズムの詳細な検討を通じ火山深部からの一連の火山性流体流路の存在・繋がりを明らかにし、これまで個別に解析・議論されていた両微動が火山性流体の運動を介し統一的に説明できることを示した。

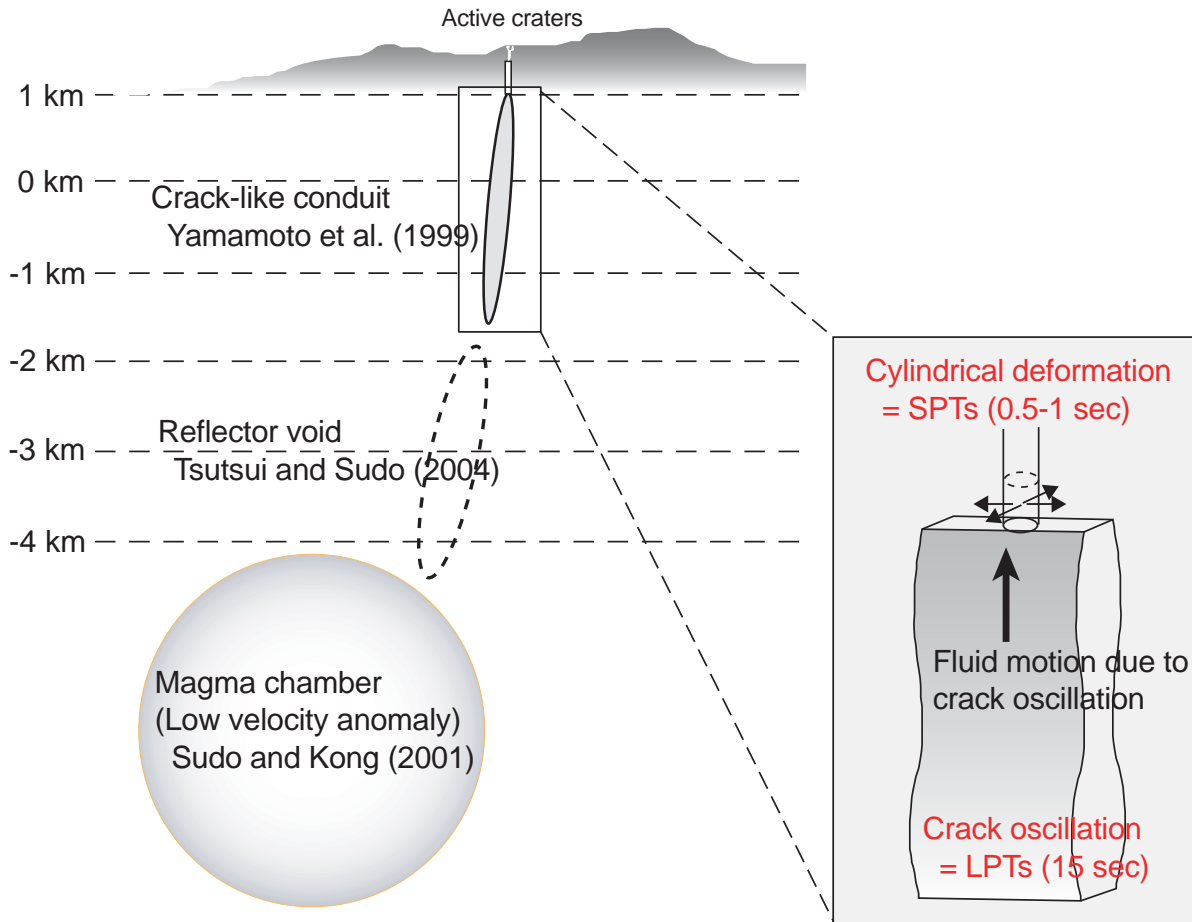


図 2: 地震学的に明らかになった阿蘇火山火道システム

【長周期微動を用いた火山活動モニタリング】

本研究の目標の一つは、火山構造とその活動機構が火山活動とともにどのような変動を示すかを明らかにすることである。幸か不幸か本研究期間中には阿蘇火山は活動期に入らなかったため、噴火に至る過程を観測することは出来なかったものの、上記のように阿蘇火山直下の火道システム・その内部における火山性流体の運動が解明されつつある現段階で微動活動の時間的変動を物理モデルに基づき定量的に再検討することは大きな意味があろう。例えば、流体亀裂の数値モデリングに基づく、長周期微動の周期は火山活動の活発化(火山性流体の温度上昇・SO₂成分の増加)によって短周期側へシフトすることが予測されるが(図3)、火山活動の変動が地震学的に捉えられるのであれば、定量的噴火予測に貢献できると考えられる。

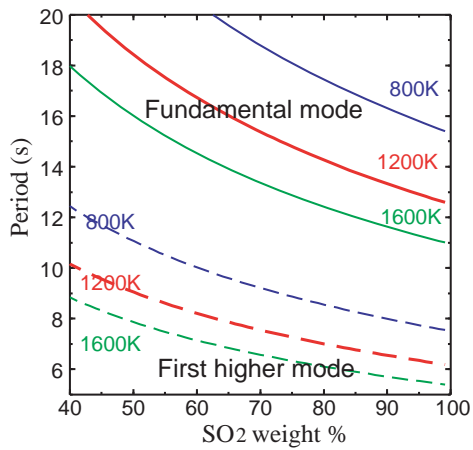


図 3: 流体亀裂モデルから予測される長周期微動周期と火山活動(温度・化学組成)の関係

そのような視点から、本研究グループによる過去 10 年に渡る広帯域地震記録を再検討した結果、長周期微動の周期は従来考えられていたほど一定ではなく、15 秒を中心に時間的に変動していることが明らかとなった(図 4)。この変動は基本周期のみならずその高調波の周期にも同様に見られるものであり、長周期微動源での火山性流体の物性変化を示唆する。池田(2005: 報告 5)は、2002 年から 2004 年にかけての長周期微動周期の時間変動が地表におけるSO₂ 噴出量と良い相関があることを明らかにし、長周期微動波動特性を用いた火山活動のモニタリングの可能性を示した。

本研究では、広帯域地震観測網のオンライン化も進め、長周期微動源位置・震源メカニズム・波動特性(スペクトル)などのリアルタイム処理も実現した。今後は、構築された観測網を維持し、活動期への移行に伴う微動活動の変動を捉え、阿蘇火山の噴火準備過程・噴火過程・収束過程における物質移動の地震学的手法による定量化という当初の目的を継続的に目指す予定である。

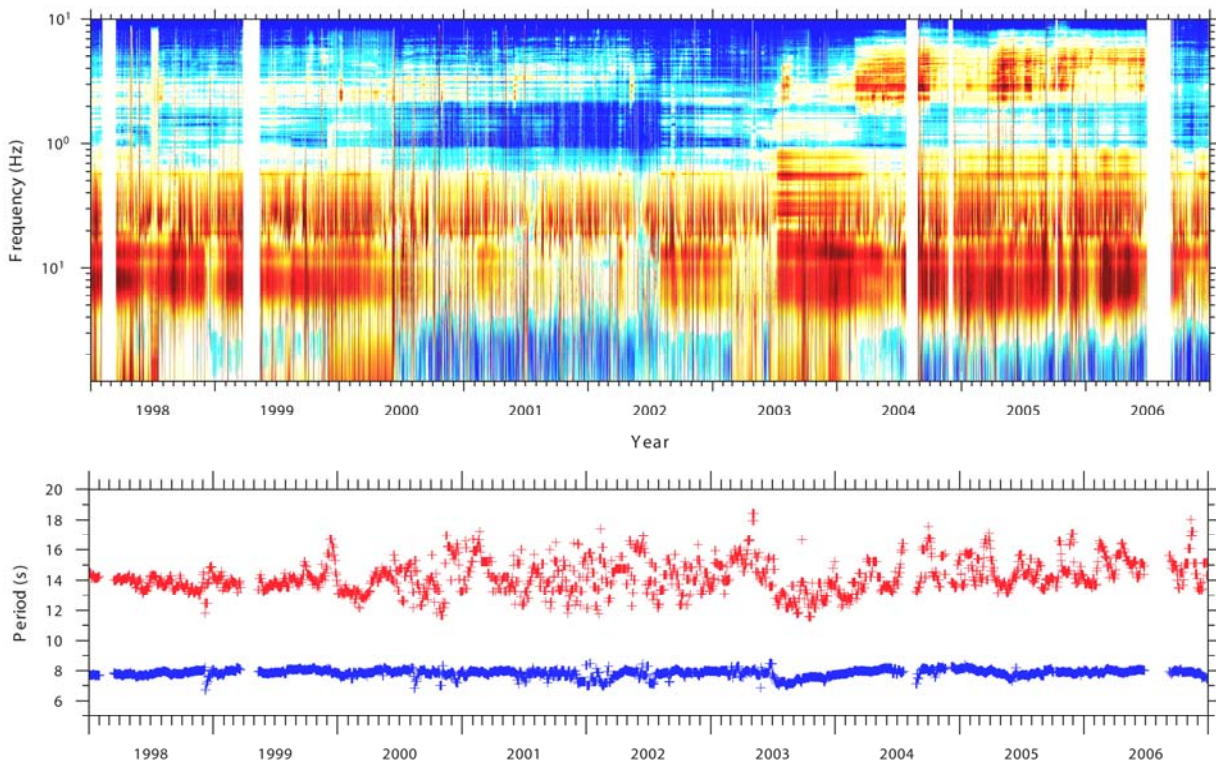


図 4: 微動活動・長周期微動周期の長期的変動