

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-2) 火山噴火準備過程

ア．マグマ上昇・蓄積過程

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-2) 火山噴火予測システム

ア．噴火シナリオの作成

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究の目標は、マグマの蓄積期にある桜島を対象に、多項目の 5 年にわたる長期観測に基づいてカルデラ下におけるマグマの蓄積に伴うその量の推移および桜島南岳直下へのマグマの移動の過程を把握した上で、火山体構造とその時間変化をあわせ考慮し、桜島のマグマ蓄積・移動・上昇モデルを構築し、今後起こりうる活動について予測することにある。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度

火山性地震の稠密観測を桜島および周辺南九州域において開始する(海域を含む)。GPS 連続観測点の増設を行う。また、地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量、噴出物の分析などの多項目観測を実施する。地震波による反射法探査を実施し、人工地震探査(平成 20 年度)の結果と比較して構造の時間変化を把握する。

平成 22 年度

火山性地震稠密観測および GPS 観測を継続し、地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量、噴出物の分析などの多項目観測を繰り返す。

平成 23 年度

火山性地震稠密観測および GPS 観測を継続し、地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量、噴出物の分析などの多項目観測を繰り返すことにより、火山体内および周辺の応力状態の分布と時間変化を把握し、マグマの蓄積・上昇モデルを構築する。また、空中磁気測量、MT 探査を実施し、平成 19 年度の結果と比較して比抵抗構造の時間変化を把握する。

平成 24 年度

火山性地震稠密観測および GPS 観測を継続し、地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量、噴出物の分析などの多項目観測を繰り返し、マグマの蓄積・上昇モデルの修正を行う。

平成 25 年度

トモグラフィ的手法による火山体構造探査を行い、平成 20 年度に実施予定の火山体構造探査によって得られた構造と比較し、その時間変化に基づいて、多項目観測から得られたマグマ蓄積・移動のモデルの統合化を図る。モデルに基づいて活動の評価と予測を行う。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

2006 年 6 月に噴火活動が再開した桜島の昭和火口における噴火活動は年々爆発回数が増加し長期的な活発化の傾向にある。23 年度は昭和火口における噴火活動再開後のマグマの蓄積・上昇と放出との関係について地震、地盤変動観測、重力測定、火山ガス放出量、噴出物の分析、地下構造などの多項目観測の結果から考察した。観測結果の時系列を図 1 に示す。

昭和火口の爆発的噴火（空振振幅 10Pa 以上）は 2008 年 2 月から発生し始めたが、急激に発生回数が増加したのは 2009 年以降である。活動のピークは 2009 年 12 月～2010 年 3 月、2011 年 2 月、2012 年 1 月と 3 回あり、およそ 1 年ごとに消長を繰り返している。爆発回数が増加する時期はハルタ山観測坑道に設置された伸縮計において膨張ひずみ、傾斜計において中央火口丘（南岳～北岳）側が隆起する傾斜変化が観測され、爆発回数が減少する時期は収縮・沈降の地盤変動が観測された。傾斜ベクトルからは地盤変動を励起する圧力源の位置は北岳付近の深さ 6km と推定されるのでこの位置に中央火口丘下のマグマ溜まりがあると仮定し、火山灰放出量を考慮してマグマの供給率を見積もってみた。マグマ供給率が正および負となるサイクルを 1 年おきに繰り返し、爆発回数が多い時期はマグマ供給率が増加し、少ない時期はマグマが過剰に放出されていることが分かる。すなわち、マグマが中央火口丘下に貫入すると同時に強い噴火活動によりマグマを放出させながら残りのマグマを蓄積させている時期と蓄積されたマグマを弱い噴火活動により放出している時期をおよそ 1 年の周期で繰り返していることになる。

マグマ供給率大きい貫入期と放出期を繰り返していることは他の観測項目とも整合的である。火山灰付着成分の水溶性成分の Cl/S モル比はマグマ供給率が大きい貫入期、特にその初期において大きい値をとり、高温のマグマが供給されたことが示唆される。また、SO₂ の放出量は貫入期において増加している。また、黒神観測井の温泉ガス中の CO₂ 濃度は貫入期に増加する。さらに、貫入期においては噴出物の分析から玄武岩質マグマが関与した SiO₂ の少ないマグマが供給されていることが指摘できる（北大研究課題 1004 と連携した研究）。

1 年ごとに繰り返されるマグマ供給率の増加に加え、桜島への百年間の平均的マグマ供給率 1 千万 m³/年を上回る供給率が約 5 年ごとに現れる。1995 年以降の GPS 観測データでは、1998 年～1999 年、2004 年後半～2005 年初め、2009 年後半～2010 年初めがその時期に当たる（図 2）。これは水準測量によって得られた上下変動でも捉えられている。先に述べた昭和火口の爆発活動のピークのうち最初の活動期は約 5 年ごとにあらわれるマグマ供給率増加期に一致する。この時期の地盤変動の空間分布から始良カルデラ中央部下の主圧力源と北岳付近の副圧力源が検出できた。北岳付近の副圧力源の変化と考えられる地盤変動は桜島の北部に展開した GPS により、南北方向の変動が卓越した 1 年ごとの変動としても捉えられている。桜島中央火口丘下の火山構造性地震の地震活動は依然として低いレベルにあるが、5 年ごとに繰り返されるマグマ供給率の増加に連動して桜島周辺の浅発地震活動が活発化したことが指摘できる。

1 年あるいは 5 年周期のマグマ貫入速度の増加は、岩手山で 10 年ぶりにマグマ貫入が検出されたこと（東北大研究課題 1209）と比べるとかなり頻度が高く、桜島の噴火活動度を反映している。また、2009 年後半からの活動期に先行して黒神観測井の水素ガス濃度が著しく高くなったが、水素ガス濃度の増加は 5 年ごとに現れる大きいマグマ供給率の増加と対応しているように見える。草津白根山の湯釜火口壁の噴気ガスには水素ガス濃度が増加しており（東工大研究課題 1602）、今後水素ガス濃度の変化にも注目していく必要がある。

繰り返し反射法地震探査からは3ヶ所の発破に対して後続波波形が著しく変化しており、コヒーレンスの高い周波数帯域(5~8Hz)における、走時に対するコヒーレンス(図3)およびコヒーレント角の変化率に変化が認められた。このことは、桜島へのマグマの供給率の増加と関連している可能性があり、今後検討を進めていく予定である。一方、2007年から4年ぶりに実施したMT探査では顕著な変化は見られなかった。このことは地下深部においてはマグマ貫入による構造変化があったとしても、黒神観測井のように火山体内部の状態変化に敏感な観測点を除き、火山体の浅部の広い範囲まではその影響が波及していないことを示す。2006年に昭和火口の噴火が再開し、2009年以降マグマ供給率の増加がみられるが、南岳活動期の継続的に大きいマグマ供給速度からみると依然として低いレベルにあることと整合的である。空中磁気については昭和火口の噴火に伴う噴出物の堆積量増加に伴う帯磁が検出された(図4)。

- (8)平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
筒井智樹・今井幹浩・對馬和希・八木直史・井口正人・為栗健，2011，桜島火山北東部の表層地震反射構造，火山，56，201-212。
Tomiyama, N., Koike, K., Iguchi, M. and Omura, M., 2011, Analysis of topographic change at Mount Sakurajima, South Kyushu, Japan, using JERS-1 SAR interferometry, Geoinformatics, 22, 17-24.
Aizawa, K., Kanda, W., Ogawa, Y., Iguchi, M., Yokoo, A., Yakiwara H., Sugano, T., 2011, Temporal changes in electrical resistivity at Sakurajima volcano from continuous magnetotelluric observations, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 199, 165-175.
井口正人・太田雄策・植木貞人・為栗健・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫，2011，2010年桜島火山活動を考える，京都大学防災研究所年報，54B，171-183。
筒井智樹・他37名，2011，桜島火山における反復地震探査(2010年観測)，京都大学防災研究所年報，54B，195-208。
井口正人，2011，桜島火山の噴火活動 2010年6月~2011年7月，課題番号1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，1-8。
筒井智樹・他19名，2011，桜島火山における反復地震探査(2010年観測)，課題番号1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，9-22。
八木原寛・他6名，2011，桜島火山の周辺海域における繰り返し海底地震観測，課題番号1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，23-28。
山本圭吾・他10名，2011，桜島火山周辺における水準測量(2010年11月)，課題番号1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，29-34。
井口正人・他5名，2011，桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測(2010年~2011年)，課題番号1809，「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，35-42。
太田雄策・植木貞人・出町知嗣・井口正人，2011，桜島火山山腹におけるGPS連続観測および予備的な解析結果(2010年度)，課題番号1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，43-48。
山本圭吾・他13名，2011，桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定(2010年9月および10月)，課題番号1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，49-54。
大久保修平・他8名，2011，桜島火山における絶対重力観測(2)，課題番号1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，55-60。
相澤広記・小山崇夫・長谷英彰・上嶋誠，2011，MT連続観測による桜島地下浅部の比抵抗変化(2)，課題番号1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，61-66。
井口正人・平林順一，2011，桜島・黒神における温泉ガス濃度(2010年~2011年)，課題番号1809，

「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，67 - 70 .

森 俊哉，2011，昭和火口と南岳火口の火山ガス HCl/SO₂ 比の推移，課題番号 1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，71-76 .

嶋野岳人・井口正人，2011，桜島昭和火口噴出物の石基ガラス組成連続変化とひずみ変動の比較，課題番号 1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，77-80 .

野上健治・他5名，2011，桜島昭和火口における噴火活動と地球化学的観測研究 - 火山灰水溶性成分及びガス放出量による噴火活動評価その2 - ，課題番号 1809「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書，81-84 .

中川光弘・松本亜希子・宮坂瑞穂・富樫泰子・井口正人(2011) 桜島火山の噴火活動様式とマグマ供給系の20世紀からの変化とその意義．課題番号 1809，桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究(平成22年度報告書)，85-94 .

<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/kazan/H22sakura/mokuji.htm>

(9) 平成24年度実施計画の概要：

火山性地震稠密観測・地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量，噴出物の分析などの多項目観測を繰り返すことにより，火山体内および周辺の応力状態の分布と時間変化の把握精度を向上させ，マグマの蓄積・上昇モデルを修正する．また，反射法地震探査を実施し，平成23年度の反射断面構造と比較することにより，桜島の地下の構造変化からマグマの移動・上昇過程を明らかにする．空中磁気観測による地磁気変化については，時間変化のソース位置の推定を行い、今回検出された時間変化がどのような原因で生じたか、またより深部の熱的状态変化に起因する変化成分が含まれていないかを精査する予定である。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所 井口正人・山本圭吾・為栗健・神田径・石原和弘・味喜大介

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学大学院理学研究科 大島弘光(代表者のみ)

秋田大学工学資源学部 筒井智樹(")

東北大学大学院理学研究科 植木貞人(")

東京大学地震研究所 森田裕一(")

東京大学大学院理学系研究科 森 俊哉(")

東京工業大学火山流体研究センター 野上健治(")

名古屋大学大学院環境学研究科 中道治久(")

京都大学大学院理学研究科 大倉敬宏(")

九州大学大学院理学研究院 清水 洋(")

鹿児島大学理学部 宮町宏樹(")

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所火山活動研究センター

電話：099-293-2058

e-mail：iguchi@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/kazan/default.html

(12) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：井口正人

所属：京都大学防災研究所火山活動研究センター

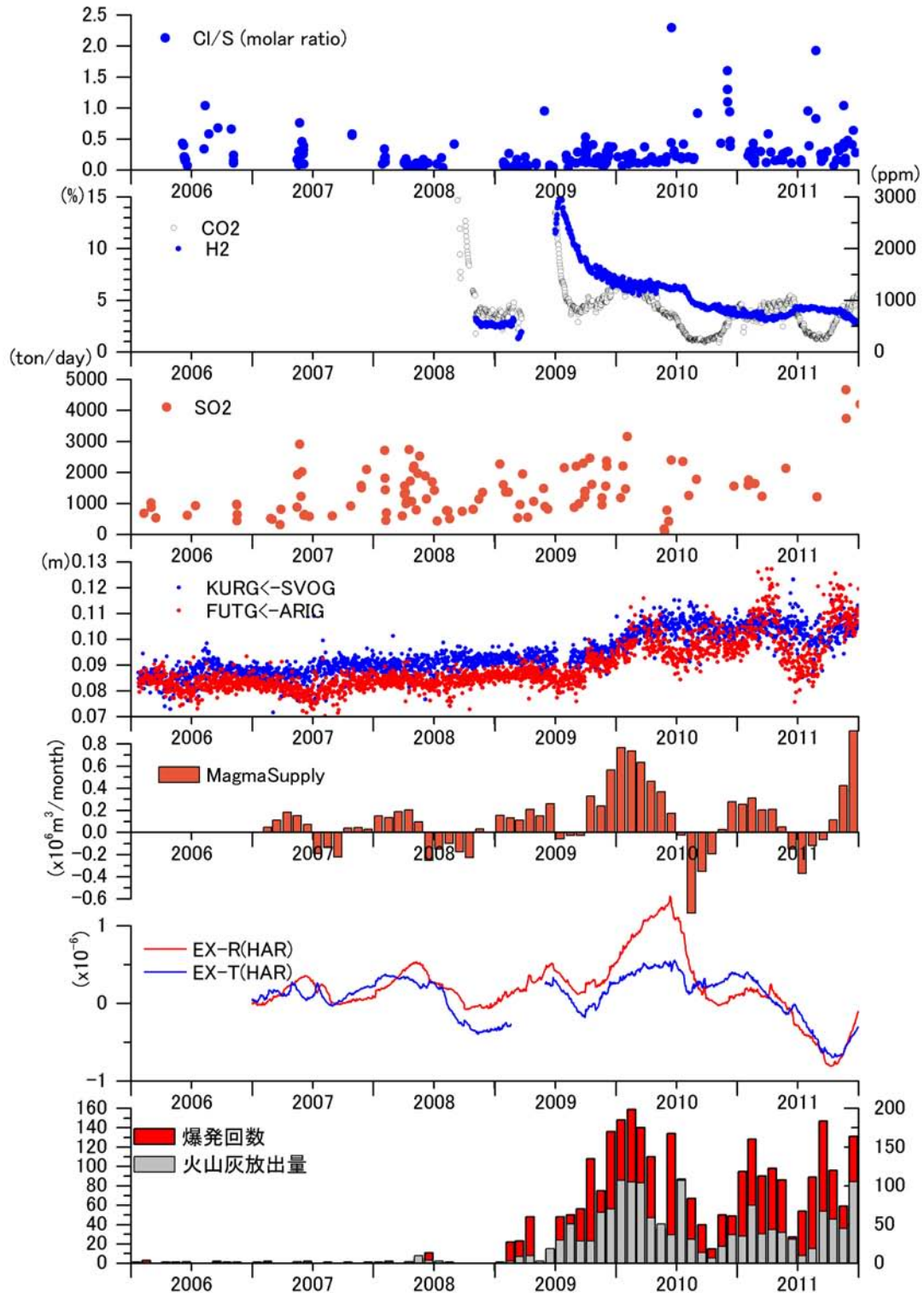


図1 桜島火山における多項目観測の時系列変化

1 段目：火山灰付着性水溶性成分の Cl/S モル比，2 段目：黒神観測井における温泉ガスの二酸化炭素および水素ガス濃度，3 段目：二酸化硫黄放出率，4 段目：GPS 観測による東西方向 (KURG-SVOG) および南北方向 (FUTG-ARIG) の基線長水平成分の変化，5 段目：桜島山頂下へのマグマ供給量，6 段目：ハルタ山観測坑道におけるひずみ変化 (EX1：伸縮計火口方向，EX2：伸縮計直交方向) ，7 段目：月別爆発回数及び火山灰放出量 (万トン)

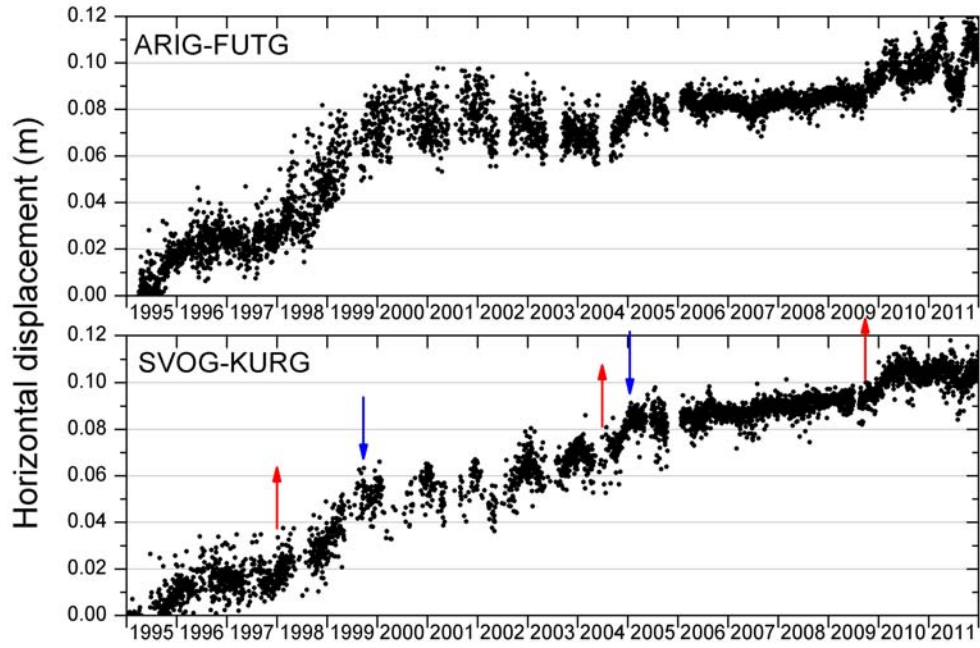


図2 GPS観測によって観測された1995年以降の長期的基線長変化
 東西方向 (KURG-SVOG) および南北方向 (FUTG-ARIG) . 矢印は伸長開始 (赤) および伸長停止 (青)

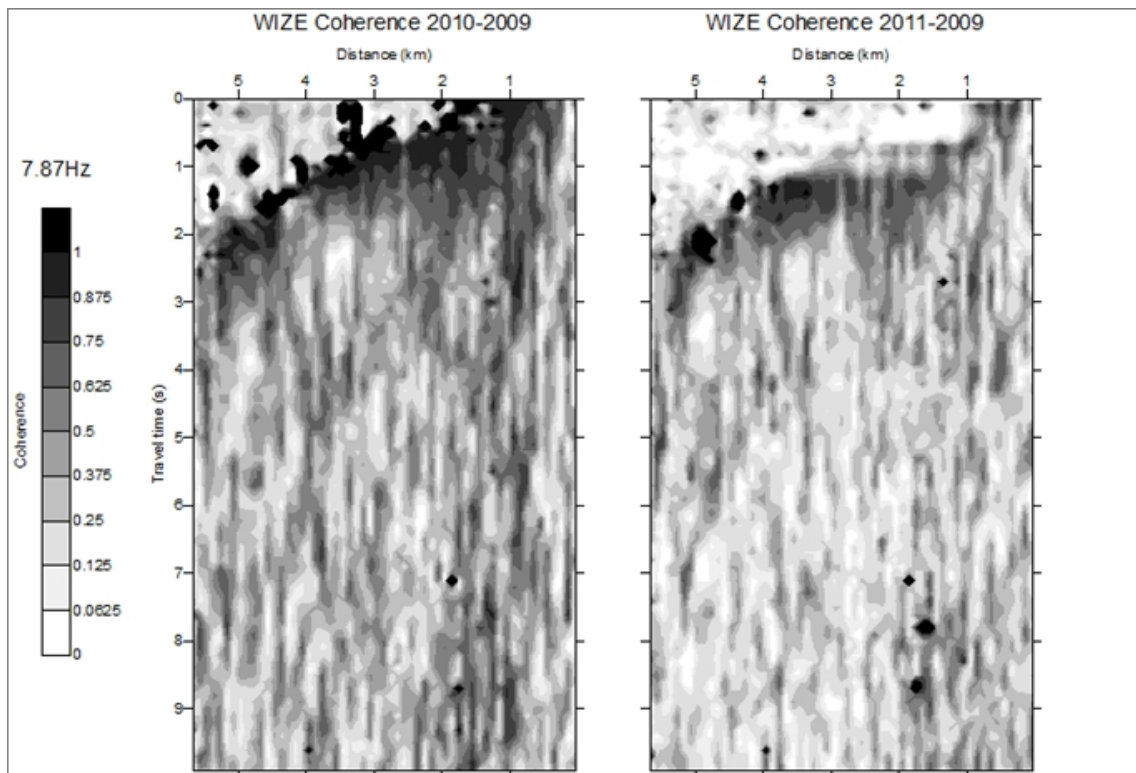


図3 反射法地震探査によって励起された地震波の初動到来直後のコヒーレンス急減
 桜島北端のショットによるもの

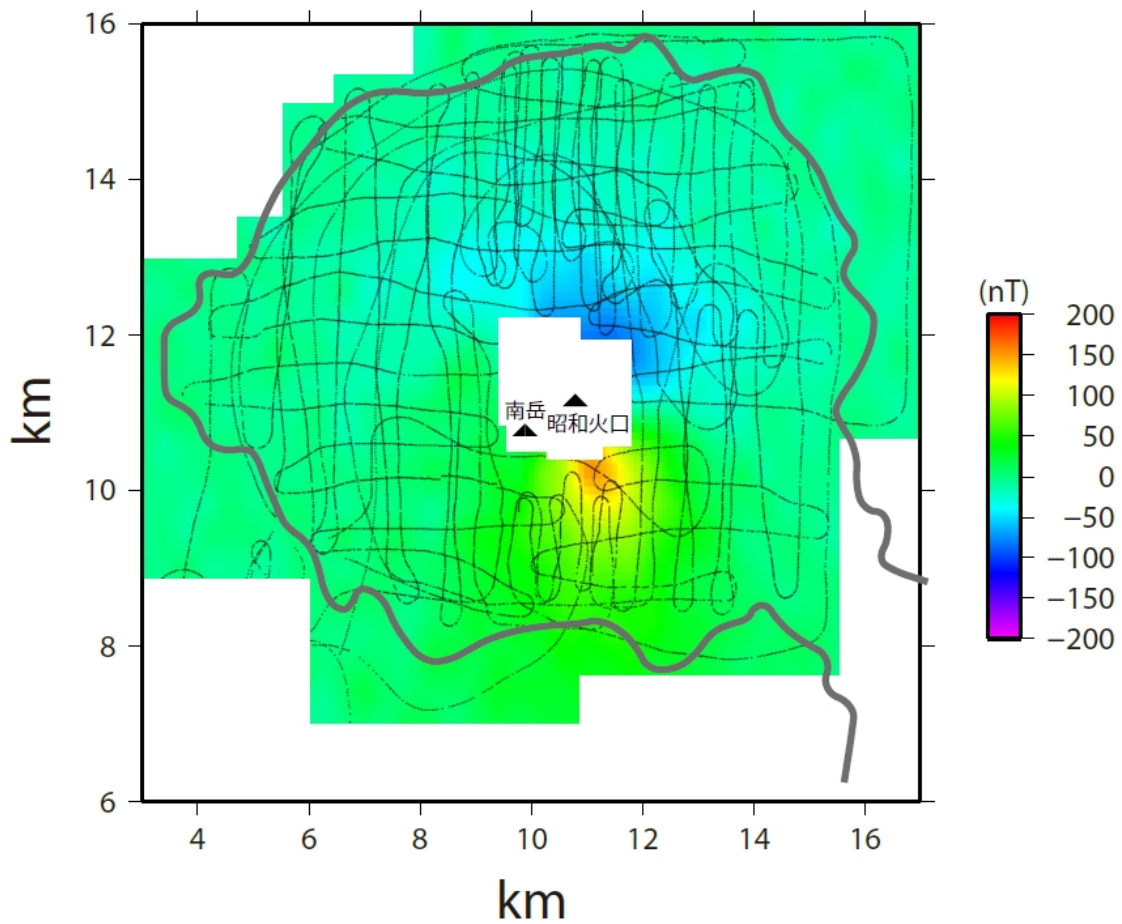


図4 2007年～2011年の磁場時間変化

昭和火口付近を中心とした、北に負、南に正の時間変化が検出された。この変化の傾向は、昭和火口付近に新たな帯磁源が現れた場合のもの一致する。2011年までの4年間に、昭和火口で活発な活動が繰り返されており、地表に大量の火山灰が堆積している。こうしたことから、堆積した火山灰が冷却し磁化を帯びたことがこの時間変化の原因のひとつとして考えられる。