



気象研究所 創立60周年記念講演会

平成18年1月27日(金) 13時30分～17時15分

会場：気象庁 講堂



旧庁舎(高円寺)



現庁舎(つくば)

気象庁気象研究所

目 次

ご挨拶 p1

・ 記念講演

気象研究所創立60周年を迎えて p3

気象研究所の沿革 p4

・ 研究報告（平成17年度終了課題）

マイクロ波データ等を利用した台風構造変化の研究 p5～6

北西太平洋の力学的海況予報に関する研究 p7～8

ライダーによる大気微量成分観測法の高度化に関する研究 p9～10

津波の発生・伝播に関する基礎的研究 p11～12

火山活動に伴う自然電位、重力変化等の

観測・解析に関する基礎的研究 p13～14

ご 挨拶

平成18年2月1日、気象研究所は創立60周年の記念すべき日を迎えます。気象研究所の淵源は、昭和17年に当時の中央气象台に設置された研究課に遡ります。昭和21年2月1日、東京都杉並区の旧陸軍気象部跡に中央气象台研究部として発足し、この日をもって気象研究所創立日と定めております。翌年には気象研究所に改組され、昭和31年の気象庁発足とともにその施設等機関となりました。

気象研究所はその発足以来、本庁と一体となって気象業務に関連する研究、気象業務を支える基盤的な研究等、幅広い分野に亘って研究活動を実施し、気象業務の高度化に貢献してまいりました。

昭和55年には筑波研究学園都市に移転、爾来25年、常に社会の要請に対応して組織・業務を見直し、気象防災、地震火山防災、気候・環境問題に関連する研究を積極的に推進するとともに、国際的な取り組み等にも積極的に参画し、更なる発展を遂げて現在に至っております。

このような気象研究業務の発展は、諸先輩の不断のご努力、関係各位の温かいご指導とご支援、さらには国民の皆様のご理解とご支援の賜物であり、深く感謝の意を表する次第であります。

気象研究所は地球科学の総合的な研究機関として、活発な研究活動を続けてまいりましたが、その研究活動の成果を社会に広くお知らせすることは、国民に対する説明責任を果たし、研究開発に対する国民のご理解とご支援を得るために不可欠であります。

平成15年度から従来の「研究発表会」を、気象庁の業務や国の施策に密接に関係するいくつかの重点研究課題につきまして、その全体像を紹介する「研究活動報告会」と、当該年度で終了する研究課題についてその研究成果を発表する「研究成果発表会」とに拡充改組し、研究成果の普及・広報活動の一層の強化を図ってきております。

今年度は創立60周年を迎えることから、「研究成果発表会」を記念講演会として東京で開催し、終了する研究課題についてご報告するとともに、気象研究所60年の歴史を振り返り、今後の展望を考えるために、記念講演を原田元気象研究所長にお願いしております。

関係の皆様におかれましては、今回の記念講演会を通じて、気象研究所の活動についてより深くご理解頂きますとともに、今後の一層のご支援をお願いして私の挨拶と致します。

気象研究所長
藤谷 徳之助

気象研究所創立60周年を迎えて

元 気象研究所長 原田 朗

創立60周年にあたり、創立当時の様子を尋ねながら、高円寺から筑波に移転した時代とその後を振り返ってみたい。

官制をたどれば、昭和17年に中央気象台に研究課が設置され、つづいて研究部制が布かれたが、大戦に翻弄されつつ終戦を迎えた。その後まもなくして旧陸軍気象部跡地に馬橋（現高円寺北）分室が置かれ、昭和21年2月1日に研究部として再発足したとある。その日をもって気象研究所の創立とされている。31年には中央気象台の附属施設となり、その後筑波の地に移転するまで、この地にあつて地球科学研究機関の役割を果たしてきた。

気象研究所は旧陸軍気象部から2万6千平米の跡地を受け継ぐとともに、当時ラジオゾンデの開発を先導していた旧陸軍気象部から、「温度測定用変調電波発信装置」（昭和9年特許許可）の技術を受け継いだ。これは戦後の気象研究所にあつて高層観測の研究に役立てられた。以後34年間、気象研究所は馬橋の地で幾多の研究成果をあげてきたが、地球科学の分野で世に多くの研究者を送り出したことも忘れてはならない。

研究学園都市の建設の閣議決定は昭和38年、気象研究所の筑波移転は47年に閣議決定された。その間、紆余曲折があり、気象研究所がこの地に移転したのは55年である。研究所の所在地は、大正9年に高層気象台が52万平米の用地を得て事業をはじめたところである。その館野の地は、昭和20年代には医療をもとめて土浦まで自家用馬車を仕立て入院したこともあつたというほどに生活の不便な地で、僻地に認定されていた。しかし野外の研究観測に広い敷地を必要とする気象の研究においては、またとない移転先であつた。

政府の43研究機関が集まつた筑波の地は、まもなく研究学園都市としての整備がととのい、新たに研究成果をあげ始めた。新天地に移転した当研究所は、研究報告や成果の発表方式の改善、16国が参加した熱帯気象地域科学会議の主導など、活発な研究活動を社会に示し始めた。移転の前後20年を比較して、研究成果の外国雑誌への掲載数や国外開催の学会等での発表論文数の増加が顕著であつた。

筑波の地で四半世紀を経た気象研究所だが、その活動に対する一般社会の期待は大きい。発展を祈念したい。

気象研究所の沿革

- 昭和17. 1 中央气象台に研究課を設置。
21. 2 中央气象台分掌規程の改正に伴い、東京都杉並区において中央气象台研究部として再発足（気象研究所創立）。
22. 4 中央气象台気象研究所と改称。
31. 7 運輸省設置法の改正により、中央气象台が気象庁に昇格したことに伴い、1課9研究部で構成される気象庁気象研究所となる。
33. 10 総務部を新設し、会計課、研究業務課を増設。
35. 4 高層気象研究部を台風研究部に、地球電磁気研究部を高層物理研究部に改組。
46. 4 気象測器研究部を気象衛星研究部に改組。
47. 5 研究業務課を廃止し、総務部の外に企画室を設置。
49. 4 地震研究部を地震火山研究部に改組。
55. 6 筑波研究学園都市に移転。
62. 5 高層物理研究部と気象衛星研究部を廃止し、気候研究部と気象衛星・観測システム研究部を新設。
- 平成 9. 4 応用気象研究部を環境・応用気象研究部に改組。

マイクロ波データ等を利用した台風構造変化の研究

○中澤哲夫、北畠尚子、楠研一、別所康太郎、星野俊介 (台風研究部)

1. はじめに

衛星リモートセンシングは、台風の発生、発達、温帯低気圧化など台風研究にとって重要な役割を果たしている。特に、マイクロ波データを用いると、雲に覆われていても、水蒸気量、降水量、海上風速、海面水温など台風の発生、発達に関する重要な物理量を得ることができることから、今後の台風研究に大きく貢献することが期待される。

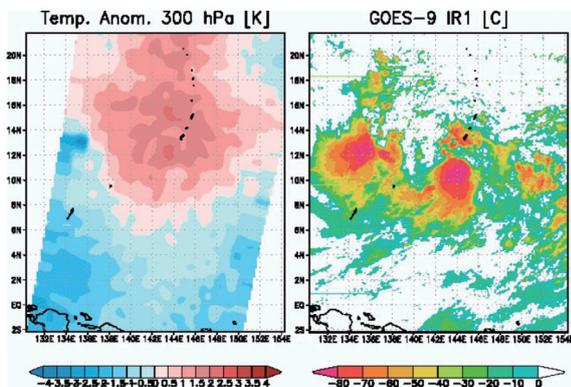
本発表では、マイクロ波データにより台風の発生、発達、温帯低気圧化などの台風構造変化がどのように捉えられるのか調査した結果について報告する。

2. 衛星マイクロ波センサー*

衛星搭載マイクロ波センサーは、観測目的により、探査計（気温や水蒸気の鉛直分布）、放射計（各種水物質質量）、散乱計（海上風）、レーダー（三次元降水強度）などがある。本研究では、探査計については、AMSUを、放射計については、TRMM/TMI、AMSR、AMSR-E、散乱計については、QuikSCAT、SeaWinds、そしてレーダーについては、TRMM/PRを用いた。

2.1. 台風の発生

台風発生に、台風中心付近の大気中上層での、非断熱加熱による暖気核の生成が寄与していることはよく知られている。これまでの発生の研究では、静止気象衛星の可視・赤外放射計の画像が使われてきたが、マイクロ波探査計を用いると、気温の鉛直分布を広範囲に推定することが可能であることから、そのデータを使って、台風の発生に関する有用な情報を得ることを目的に研究を行った。

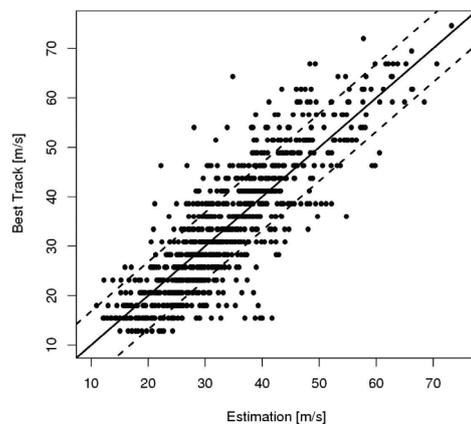


第1図：2004年8月17日19時における、台風第0417号の300hPaの気温偏差(左)とGOES-9の赤外画像(右)。左図で暖色域は周辺より暖かい暖気核の領域を表す。

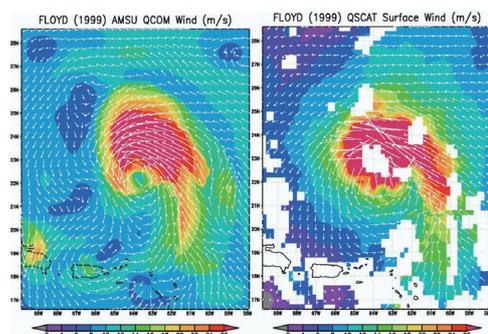
マイクロ波探査計の一つであるAMSUからの気温情報を使って、台風の発生に果たす暖気核の特長について調べたところ、いくつかの事例解析から、台風にまで発達したじょう乱の場合には、じょう乱の発生初期の段階から周辺より+2、3K程度の気温の正偏差域を持ち(第1図)、台風に特有の暖気核構造が持続していた。その一方、台風にまで発達しなかったじょう乱では、明瞭な暖気核が見られなかった。

2.2. 台風の強度推定

マイクロ波放射計の放射輝度温度データを用いて台風の強度推定法の開発を行った。まず、さまざまな周波数の放射輝度温度と台風の最大風速との関連を調べ、回帰式を導きだした。その結果、85GHzなどの高周波帯より、10GHzや19GHzの低周波帯の輝度温度により、より精度よく強度推定を行うことができることがわかった。この方式を使うと、5—8m/s程度の誤差で最大風速を求めることができる(第2図)。



第2図：世界全台風の風速の散布図。縦軸は観測。横軸は本研究での推定値。点線は標準偏差の幅を示す。



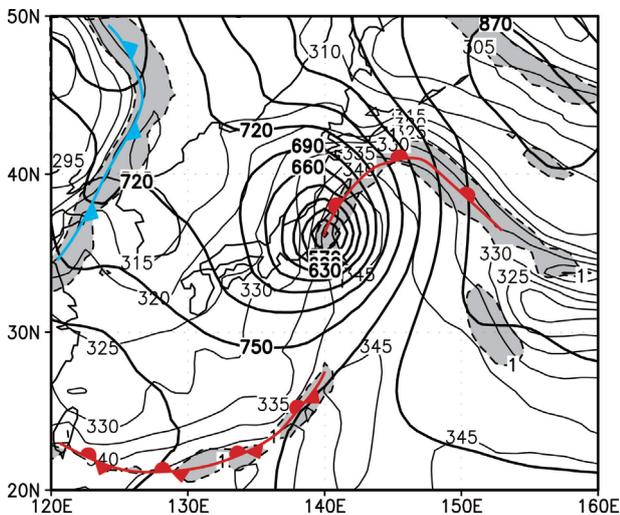
第3図：マイクロ波探査計AMSUの気温偏差を用いて推定した1999年のハリケーン・フロイドの海上風(左)とマイクロ波散乱計QuikSCATから推定された海上風(右)

マイクロ波探査計を用いて海上風の2次元分布を求め、台風周辺の暴風・強風分布、非対称構造などを求めることができた。得られた海上風が、QuikSCATの海上風と対応がよいことを確認した(第3図)(Bessho et al., 2005)。

2.3. 台風の温帯低気圧化

従来、台風の研究は成熟期の軸対称構造を前提にしたものが多く、中緯度において温帯低気圧に遷移する過程とそれによるシビア現象に特に着目した研究の重要性はあまり強調されていなかった(Kitabatake, 2002)。2004年に多数の台風による多様な災害が生じたことで、この方面の研究の必要性が改めて確認された。

2001～2002年に温帯低気圧化した台風について、下層前線の客観解析を行った結果、環境場と関連付けて構造変化をwarm seclusion、open wave、cold advectionの3種類に分類できることがわかった。warm seclusionタイプの温帯低気圧化は上層に顕著な短波長トラフがあるときに生じ、台風は比較的強い勢力を保ったまま日本付近を北上する傾向があり、その結果として日本本土で災害が多くなる傾向もあった。それに対してcold advectionタイプの温帯低気圧化は中緯度に下層の強い寒気が南下しているときに比較的低緯度で生じるので日本への影響は小さく、またopen waveはそれらの中間の性質を持っていることがわかった。



第4図：2002年10月1日21時(日本時)の925hPa面のジオポテンシャル高度(m、太実線)、相当温位(K、細実線)。前線記号は陰影で表したthermal front parameterの $1 \times (100\text{km})^{-2}$ 以上の領域から判断した前線の位置。

2002年に温帯低気圧化しながら関東地方を通過した台風第0221号の構造について、現業観測網、ドップラーレーダーやGPSゾンデ特別観測データを用いて解析を行った。この台風はwarm seclusionタイプに分類され、温帯低気圧に変わったとされたのは10月2日に北海道付近に進んだ後であった。これに先立つ1日21時にはつくば市付近を通過中

で、まだ強い勢力(965hPa)を保っており、雲画像でも台風は軸対称構造を保っていたように見えた。しかし、下層では台風の北に既に下層に強い温暖前線が見られ、降水分布にも強い非対称性が見られた(第4図)。その下層前線沿いには幅の狭い弱風帯が分布しており、それに対応してメソスケールの負の絶対湿度が分布しており、結果的に台風の循環中心は前線上ではなく前線から数10km離れた暖気内を進んでいた。このことから、温帯低気圧化過程では暖気核の消失より下層の非対称化が先に進むが、台風近傍での前線の発生がそのまま台風自体の温帯低気圧化に結びつくわけではなく、むしろ台風との相互作用で前線が強化されることでメソスケールのシビア現象の発生に寄与する可能性があることが確かめられた。

3. まとめ

熱帯海洋上に分布する熱帯じょう乱の特徴を調査し、マイクロ波探査計から推定される暖気核の有無が発生判別因子の可能性を持つことがわかった。

マイクロ波放射計を用いた強度推定法については、風速誤差5—8m/sで最大風速を推定することができた。マイクロ波探査計から台風強度、特に台風の海上風の2次元分布を求め、台風の暴風・強風分布、非対称構造を求めることができた。

台風の温帯低気圧化について、台風と、中緯度偏西風帯に特有な上層じょう乱(短波長トラフ)との相互作用について、特に渦位分布の解析が有効であることがわかった。

温帯低気圧化過程にある台風のメソスケール構造について解析を行い、台風の非対称化と暖気核消失に時間的なずれがあるために遷移期間が生じること、その際にメソスケールのシビア現象が生じていることが確認された。

参考文献

Bessho, K., M. DeMaria and J. Knaff, 2005: Tropical Cyclone Wind Retrievals from the Advanced Microwave Sounder Unit (AMSU): Application to Surface Wind Analysis. *J. Appl. Met.* (in printing).
 Kitabatake, N., 2002: Extratropical transformation of Typhoon Vicki (9807): Structural change and the role of upper-tropospheric disturbances. *J. Meteor. Soc. Japan*, 80, 229-247.

*AMSU: 高性能マイクロ波探査計, TMI: TRMMマイクロ波放射計, AMSR, AMSR-E: 高性能マイクロ波放射計, QuikSCAT: NASAマイクロ波散乱計, SeaWinds: ADEOS IIマイクロ波散乱計, PR: TRMM降雨レーダー

北西太平洋の力学的海況予報に関する研究

○辻野博之、碓氷典久、蒲地政文、石崎廣（海洋研究部）

1. はじめに

わが国は四方を海に囲まれているため、海の状態（海況）やその変動により、気候や人間の活動がさまざまな影響を受けている。例えば、暖流である黒潮が南方から大量の暖かい海水を運んでくることが西日本や東海地方における比較的温暖な気候の、一方、寒流である親潮が北方から大量の冷たい海水を運んでくることが東北や北海道地方の太平洋側で夏季においても比較的冷涼な気候がもたらされることの、それぞれ一因となっている。また、海上交通や水産業の実用面、異常潮位による自然災害など、人間の社会的な生活も海況の影響を受けている。しかしながら、その変動のメカニズムについては、黒潮の流路変動をはじめとして、完全には解明されていない点が多い。

気象研究所海洋研究部では、海洋の実況把握と予測情報の充実のため、さらにはその変動メカニズムを解明するために、力学的根拠に基づく海況監視・予測システムの構築、及びこれを用いた解析研究を行っている。

本発表では、当研究部で構築した、わが国を含む北西太平洋海域を対象とした監視・予測システムの概要を紹介する。さらに、本システムによる黒潮流路の変動メカニズムの解明、それに基づいた予測実験、及び予測精度向上の取り組みについて紹介する。

2. 海況監視・予測システムの概要

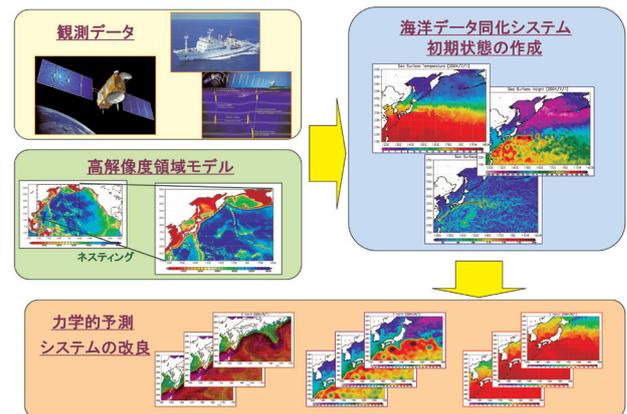
力学的根拠に基づく海況監視・予測システムは、「観測データ」、「数値モデル」、これらを統合する「データ同化」により構成される。観測データを数値モデルに挿入（同化）してモデル上に海洋の実況を再現し、それを初期状態として数値モデルを時間積分して将来の状態を予測する（第1図）。

本システムで必要とするデータは、海洋内部の水温・塩分データである。これらは、主に船舶やアルゴフロートなどによって取得される。また、海面水位が海洋内部の水温・塩分分布を反映していることを利用し、1990年代から得られるようになった衛星による海面水位のデータから推定した水温・塩分も使用する。

日本付近の海況変動メカニズムを解明するためには、黒潮や親潮などの強い海流や、それに伴う水温前線を十分に表現し得る高解像度（水平格子間隔10km）の数値モデルを使用

する必要がある。高解像度の計算は大量の計算機資源を要するため、低解像度の広域モデルから境界値を受け取って高解像度領域モデルを運用するシステムとした。

陸上と異なり、特に流れに関する観測の少ない海洋では、観測データのみで時間・空間的に高密度な海況を得ることは困難である。また、数値モデルだけでは、頻繁に現実から乖離してしまうため（非線形現象）、日本付近の海況を再現することはできない。従って、これらを統合するデータ同化システムが必要となる。本システムでは、水温・塩分の観測データを、数値モデルの物理的に整合性のとれた状況を崩すことのない形でモデルになじませていくことにより（三次元変分法）、海況を再現する。



第1図：海況予測システムの概要

3. 本システムを用いた黒潮流路変動の解析と予測

3.1. 流路変動基本メカニズム

黒潮は本州南岸を東向きに流れる際、大別して沿岸に沿う非大蛇行流路と大きく南方へ迂回する大蛇行流路の二種類の流路をとり、ともに1年から数年間の継続性をもつ。

本システムによるシミュレーションでは、非大蛇行流路から大蛇行流路の形成、一定期間継続の後、解消という、現実にもみられるものと同様の流路遷移が再現された。解析の結果、

- ・ 大蛇行流路の形成には、九州東方沖に生じる冷・暖水渦を引き金とした、温帯低気圧の形成と同様の不安定現象（傾圧不安定）が重要な役割を果たしている。
- ・ 大蛇行流路が安定している時には、黒潮自身による流路の形状を東方へ動かそうとする効果が、流路の形状を西方へ動かそうとする効果（惑星波による）とバランスしている。

・大蛇行流路の解消時には、上記バランスのうち、黒潮が流路の形状を東方へ動かそうとする効果が卓越することが分かった。

3.2. 予測実験結果

本システムを用いた予測実験は、海面水位の衛星データが得られる1993年1月から2004年7月までの各月1日から90日間、139ケースについて行われた。例として、2004年8月に生じた黒潮大蛇行に対する予測結果を示す（第2図）。7月初めに紀伊半島の南に達している小蛇行が9月上旬にかけて大きく発達している。この事例においても、前節で述べた傾圧不安定の発達がみられた。日本南岸における海面高度の平均二乗誤差によって、本システムの予測限界を判断すると、40から60日間であった。

3.3. 予測性能向上

前々節で述べたように、黒潮の非大蛇行から大蛇行流路への遷移には不安定の発達とそれに伴う非線形効果が強く寄与するため、予測における初期状態の微妙なずれが引き金となって、全く異なった結果に至る可能性がある。従って予測は簡単ではないが、こうした問題に対しては、初期状態を制御することによるアンサンブル予測が有効となる。ここでは、初期状態の相違による不確実性の高い事例に対するアンサンブル実験の例を示す。第3図に示したように、最初の予測実験（青）では、実際には起こらなかった大蛇行を予測していたものの、15メンバーのうち3つが現実にとった流路（赤）を再現したため、予測としてアンサンブル平均をとることにより、この事例の予測限界を10日間程度延ばすことができた。

また、前々節で述べたように、一旦生じた蛇行の挙動は、黒潮の流速に大きく左右される。予報開始時において黒潮流速が強めに同化された結果、蛇行の東方への流路が実際よりも早くなる事例がみられたため、予測の初期状態を求めるにあたって観測データへの同化程度を弱くすることにより、こうした事例の予測限界を10日間程度延ばすことができた。

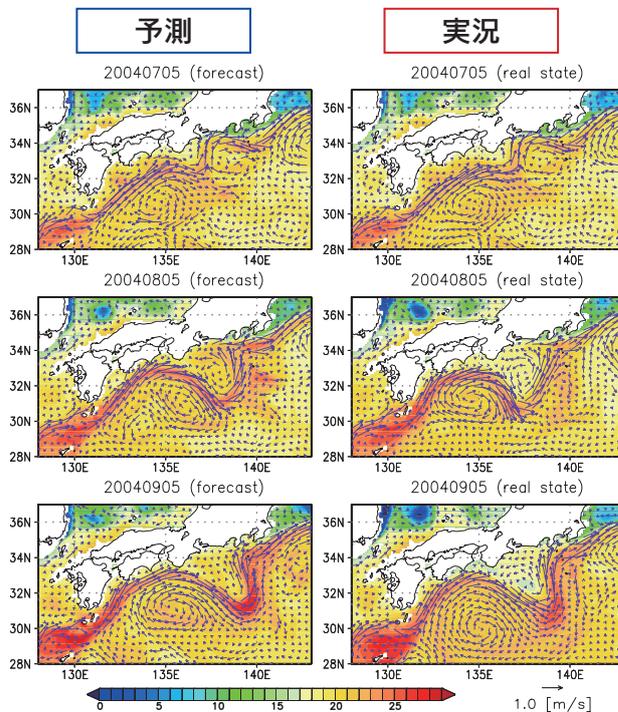
4. まとめ

本研究では、海況変動のメカニズムを考慮することにより、予測結果の解釈や予測性能向上へ向けてより明確な見通しを持って取り組むことが可能となり、予測限界を延ばすことができた。これらは、実際に生じる現象を再現する能力を持つ数値モデルを用いることによって初めて可能となった。

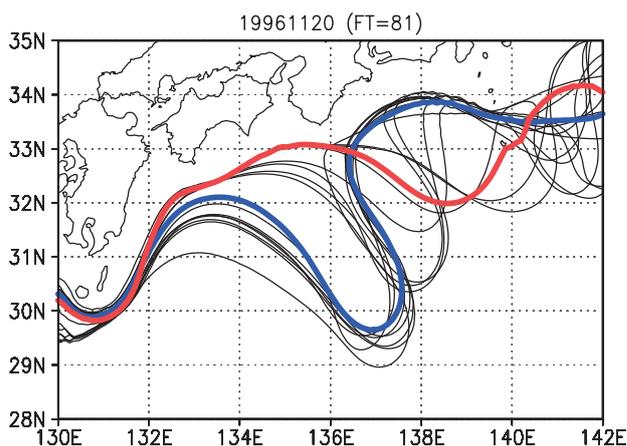
今後さらなる予測性能の向上を目指すにあたっては、適切な初期状態を設定することが非常に重要である。予測の成否

の鍵となるような、特別な観測地点・観測項目が設定できれば、より効率的な観測システムの設計にもつながる。また、限られた観測データを最大限に生かすことを可能とするため、データ同化手法のさらなる改良も必要といえる。

なお、本システムは、気象庁における海況監視・予測業務の次期システムとして供される予定である。



第2図：海況予測実験の例（左：予測、右：実況）。2004年7月1日開始。7月5日から約30日毎の100m深の水温・流速場。本州南岸を流れる黒潮が非大蛇行から大蛇行流路へと遷移している。



第3図：アンサンブル（15メンバー）予測実験の例。1996年9月1日の予測開始後81日目の黒潮流路。初期状態の微妙な差により、予測における流路は3種類に分かれる。最初の予測実験（青）では大蛇行となったが、15メンバーのうち3例は実況（赤）と同種類の流路をとる。アンサンブル平均により予測を行うと、この事例についての予測限界を10日間程度延ばすことが可能となる。

ライダーによる大気微量成分観測法の高度化に関する研究

○永井智広、中里真久、廣瀬保雄*¹ (気象衛星・観測システム研究部)

1. はじめに

オゾンやエアロゾルをはじめとする大気微量成分の消長は、気候や大気環境に大きな影響を与えている。これらの影響を正しく評価するためには、時間的にも空間的にも十分な分解能を持った観測を行うことが必要である。

ライダーによるオゾン観測は、対流圏についてはまだ開発途上にある。本研究では、対流圏オゾンの鉛直分布を連続観測できる装置として最適な観測手法であるライダーについて、独自の送信系を開発し、これまでの研究での問題点を解消し、対流圏全域のオゾンと昼夜を問わず連続観測できるライダーを開発した。また、開発した装置を用いた観測を行い、成層圏オゾンの対流圏への侵入などの顕著な現象を捉えた。

2. 対流圏オゾンライダーの開発及び検証

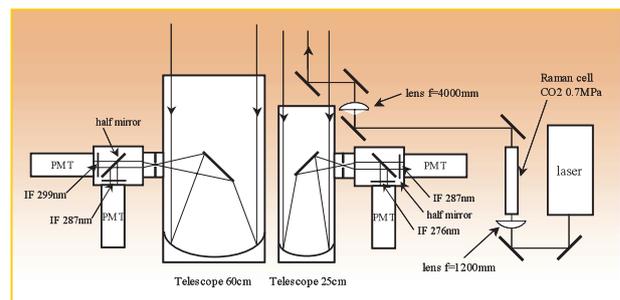
2.1. 開発した装置の構成と特徴

オゾンの観測は、差分吸収法で行う。この方法は、オゾンにより吸収されやすい波長と吸収されにくい波長の組を必要とする。この波長組を生成するために、光源としてNd:YAGレーザーの第4高調波(波長:266nm)を使用し、ラマンセル(誘導ラマン散乱を利用して波長変換する光学素子)を用いて、対流圏オゾンの測定に適した波長に変換する方式を採用した。この時に生成される波長は、ラマンセルに充填する気体の種類によって決まる。欧州を中心に行われてきたこれまでの研究では、波長変換効率が高い水素(第1ストークス線波長:299nm)及び重水素(同:289nm)を、それぞれ別のラマンセルに充填して使用することが多かった。本研究において、他の様々な気体によって得られる波長を調査した結果、二酸化炭素(第1～第3ストークス線波長:276nm、287nm、299nm)が対流圏オゾン観測に有効であることが分かった。

二酸化炭素を採用した場合、従来の装置に比べて次のような利点がある。1)実績のある重水素と水素で得られる波長(289nmと299nm)に近い波長(287nmと299nm)を同時に生成できる、2)加えて、境界層付近の観測に適した波長276nmを生成できる、3)生成される波長の間隔がオゾン観測に適した10nm程度である、4)必要なラマンセルは1本であり、送信系が単純になる、5)誘導ラマン散乱の非線形性のため、ラマンセルが2本の装置に比べて、波長変換効率が向上する、6)ミラーなどの光学素子を少なくできるため、送

信光の損失を小さくできる、7)二酸化炭素は化学的に安定で無害であるため、安全である、8)ガス交換もほとんど不要である、などである。これらにより、装置の保守が容易で長時間の連続観測も可能な定常観測により適しており、また、送信系の総合的な効率が改善されたため、日中の観測能力が向上し、昼夜を問わず境界層を含む対流圏全域の観測が可能な装置となった。

第1図に開発した装置の概略図を示す。必要なラマンセルが1本であるため、送信系の構成はエアロゾル測定用の一般的なライダーとあまり変わらない。違いはビーム径を拡張するビームエキスパンダーの代わりにラマンセルを置いたところのみである。この装置では、エアロゾルの観測に適した波長532nmも同時に生成されているため、受信部を増設することにより、容易にエアロゾルも同時測定可能な構成にできる。



第1図 開発した対流圏オゾンライダーの構成

2.2. 二酸化炭素による誘導ラマン散乱の実験

各波長について実際に得られる出力を実験で調べた。第3図にレーザー出力100mJ/pulseの時に得られた各ストークス線出力の二酸化炭素圧力依存性を示す。二酸化炭素圧力0.7MPaの時に、最も出力が小さい第3ストークス線(図中のS3)が最大になった。この結果から、二酸化炭素を圧力0.7MPaまで充填して使用することとした。これまでの研究では、水素や重水素を充填したラマンセルにバッファガスと呼ばれる希ガスを加圧することにより、観測に使用する第1ストークス線への変換効率を向上させている。バッファガスとしては、アルゴンが最も多く使用されている。本研究でも、二酸化炭素を充填したラマンセルにアルゴンを加圧して、各ストークス線出力を測定した。その結果、アルゴン圧力の増加と共に、出力は単調に減少した。このため、アルゴンを加圧

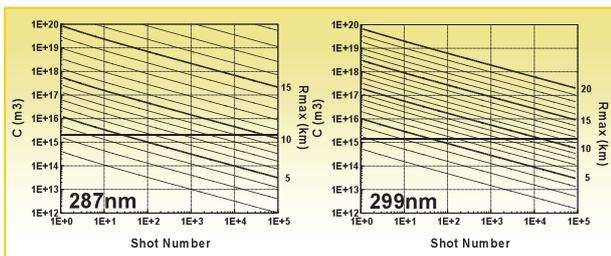
*1: 現 高層気象台

しないで使用した方がよいことが分かった。これらの実験結果は、ライダー送信系の使用条件を確定する重要なデータとなっている。

2.3. 誤差評価

第1図の装置構成を採用した場合、観測可能な高度範囲と観測に必要な時間を、計算機シミュレーションにより調べた。

第2図は、装置定数C(ここでは、レーザー1ショット当たりの送信光子数、受信望遠鏡の面積、光学系の効率、検出器の量子効率、レンジゲートの積として定義した)をショット数と、統計誤差が5%となる高度Rmaxの関数として示したものである。このデータは10月初旬の日中の背景光を考慮している。誘導ラマン散乱の実験結果から、波長287nm及び299nmに対する装置定数Cはそれぞれ 2.0×10^{15} (m³)、 1.3×10^{15} (m³)であった。図中には、このCの値を実線で示している。この図から、20000ショット(パルス繰り返し周波数10Hzの時、約33分)の積算時間で、約9kmまでのオゾンを統計誤差5%で測定できることが分かる。また、背景光のない夜間は、約15kmまでの観測が可能であるという結果も得られている。



第2図 観測に必要なショット数(観測時間に相当)と観測可能な高度範囲の関係(日中)

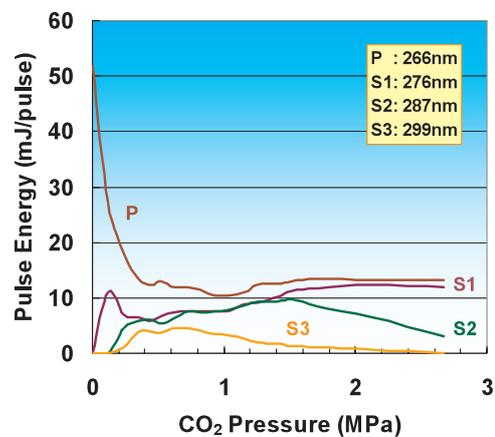
2.4. 観測事例

本装置による観測例として、成層圏オゾンの対流圏への侵入が観測された2005年2月2日から4日にかけてのオゾン数密度の時間高度断面を第4図に示す。このデータは、発達した地上の低気圧が2月1日に日本を通過した後に観測された。レーザー出力80mJ/pulseで観測を行い、積算時間30分、レンジゲート約100mとして解析した。2日0時(UTC)と3日12時(UTC)頃に高度7km付近から数密度 $1 \times 10^{18}/\text{m}^3$ 以上の成層圏オゾンが自由対流圏に侵入したことが分かる。気象庁全球客観解析データを用いてこの時の環境場を解析した。第5図に、2月1日から4日までのつくばにおける渦位の時間高度断面を示す。図中には、温位の分布も等値線で示している。縦軸は気圧の対数で高度を表している。成層圏起源と考えられる渦位1PVU以上の空気が285K~290Kの等温位線に沿って高度を下げており、観測で得られたオゾンの

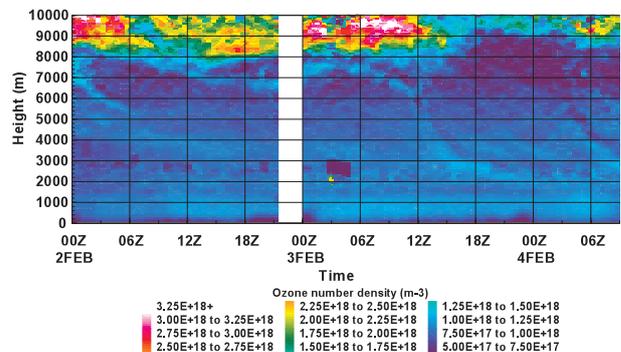
侵入とよく対応している。この観測データは、地上のごく近傍から高度10kmまで、丸2日以上にわたり安定した観測が可能となったために得ることができたものである。

3. 結論

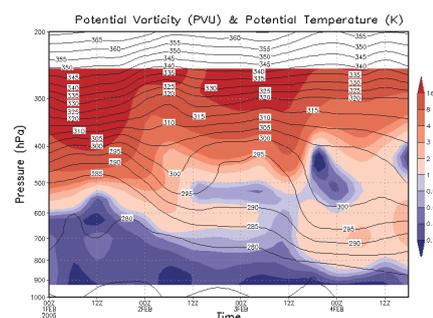
定常観測に適した対流圏オゾンライダーを開発した。レーザー出力80mJ/pulseの時、30分の積算により、昼夜を問わず高度10kmまでの観測が可能であることを実証した。使用したレーザーの出力の仕様値は150mJ/pulseであるが、出力が60mJ/pulseまで落ちて、7km程度までの観測が可能であった。今後は、本装置を用いて、成層圏オゾンの対流圏への侵入や人為起源の対流圏オゾンの実態把握など、対流圏オゾンの観測的研究をさらに進める。



第3図 各ストークス線出力の二酸化炭素圧力依存性



第4図 対流圏オゾンの時間高度断面(2005年2月2日-4日)



第5図 気象庁全球客観解析データから計算された渦位(カラー)と温位(等値線)(2005年2月1日-4日)

純化された3つのモデルA、B、Cを使う。モデルAではバックストップの水平運動はバックストップの斜面の上の堆積物だけを隆起させる。モデルBでは斜面の水平運動は堆積物全体のような隆起を起こす。モデルAは狭い範囲で大きな隆起を作り出し、モデルBは広い範囲で小さな隆起を作り出す。モデルCでは堆積物のブロックがゴムのようにふるまう。

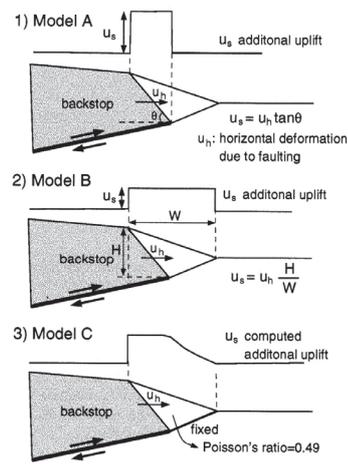
崩壊堆積物の幅が7km、バックストップの斜面の幅が4km、斜面の角度が50°であると仮定して、3つの潮位計、花咲、鮎川、銚子で観測された津波波形と計算された津波波形の比較が第3図に示されている。観測と計算された津波波形の第1波の振幅を比較することによってそれぞれのモデルでの断層のすべり量が推定された。推定されたすべり量は弾性変形だけのモデルでは10.4mである。モデルA、B、Cによって生ずる付加的隆起を加えた弾性変形ではそれぞれ6.7m、6.6m、5.9mである。これらのすべり量は純粋な弾性モデルの10.4mより有意に小さい。したがって、海溝近くの堆積物による隆起は津波励起に大きな影響をもっている。

1946年アリューシャン津波地震の際、ハワイホノルルで観測された津波の大きな第2波は通常の地震断層による津波励起だけでは説明できないと考えられてきたが、精密な津波数値計算を行った結果地震断層モデルで再現可能なことを明らかにするとともに、海溝近傍の堆積物が津波発生に寄与する効果が大きい事も確認した (Tanioka and Seno, 2002)。

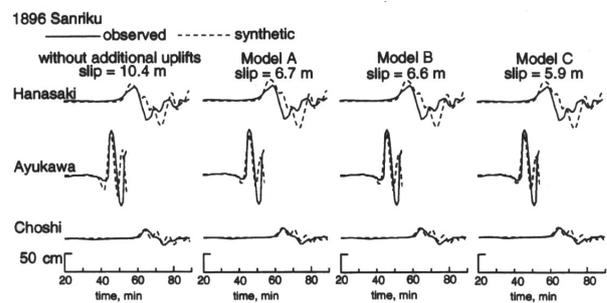
3. まとめ

津波後続波の再現性を良くするため、非線形な移流項と摩擦項を取り入れた数値計算プログラムを作成した。このプログラムは本庁へ移植され、量的津波予報データベースの更新計算に用いられているほか、津波予報を行うような地震が発生した際には事後検証のための津波再現計算などにも活用されている。後続波まで精度良く再現できるようになり、さらに津波遡上数値計算プログラムの移植・導入により、検潮所における津波波形データの他に遡上高データも利用して、断層モデルの推定・評価に活用している。

プレート境界で発生する逆断層大地震で海溝近傍の堆積物の付加的隆起が生ずるといふ津波地震の新しい発生メカニズムの仮説を立て、モデル化して定量的な評価を行い、その重要性を確認した。津波地震の発生モデルの一つとして、海溝付近の地下構造に基づく津波地震の発生場所の予測につながるものと期待される。



第2図：バックストップの水平運動による堆積層の付加的隆起の3つのモデル (Tanioka and Seno, 2001)。



第3図：4つのモデルから計算された津波波形と観測波形の比較 (Tanioka and Seno, 2001)。

参考文献

- (1) 長谷川洋平・林豊, 2005: 津波遡上高の詳細解析に基づく津波発生機構の解明. 気象庁技術報告, 第126号, 65-72.
- (2) 長谷川洋平・桑山辰夫・谷岡勇市郎・山中佳子・吉田康宏・岡田正実・林豊, 2005: 2005年8月16日の宮城県沖の地震に伴った津波の観測波形と種々の断層モデルによる数値計算波形. 日本地震学会秋季大会予稿集, PM30.
- (3) Tanioka, Y and T. Seno, 2001: Sediment effect on tsunami generation of 1896 Sanriku tsunami earthquake. Geophys. Res. Lett., 28, 3389-3392.
- (4) Tanioka, Y and T. Seno, 2002: Detailed analysis of tsunami waveforms generated by the 1946 Aleutian tsunami earthquake. Natural Hazards and Earth System Sciences, 1, 171-175.
- (5) 谷岡勇市郎・他, 2004: 2003年十勝沖地震津波調査報告. 東北大学津波工学研究報告, 第21号第2編, 1-237.
- (6) Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, 2003: Source process of the recurrent Tokachi-oki earthquake on September 26, 2003, inferred from teleseismic body waves. Earth Planets Space, 55, e21-e24.

火山活動に伴う自然電位、重力変化等の観測・解析に関する基礎的研究

○山本哲也、高木朗充、福井敬一、坂井孝行、北川貞之、藤原健治*¹ (地震火山研究部)

1. はじめに

火山活動は多様な側面を持っており、その全貌をとらえるには様々な観測手法が必要となる。第6次火山噴火予知計画のレビューの中でも、2000年三宅島噴火では、マグマの三宅島外への流出、陥没カルデラの形成および大規模なマグマ水蒸気爆発の発生など、想定外の活動に対して噴火の様式と推移の十分な予測が行えず、現象の多面的検討が不十分であったとの認識が示されている。様々な側面から火山活動を把握するために観測・解析技術を進展させ、火山現象の発生機構を研究することが火山監視に不可欠である。

本研究では、テストフィールドにおいて火山監視業務に導入されていない新しい要素を含む総合的な観測・解析を行うことをとおして、火山現象の発生機構などを解明するための基礎的研究を行った。

2. テストフィールドにおける観測と解析

2.1. 安達太良山の火山活動

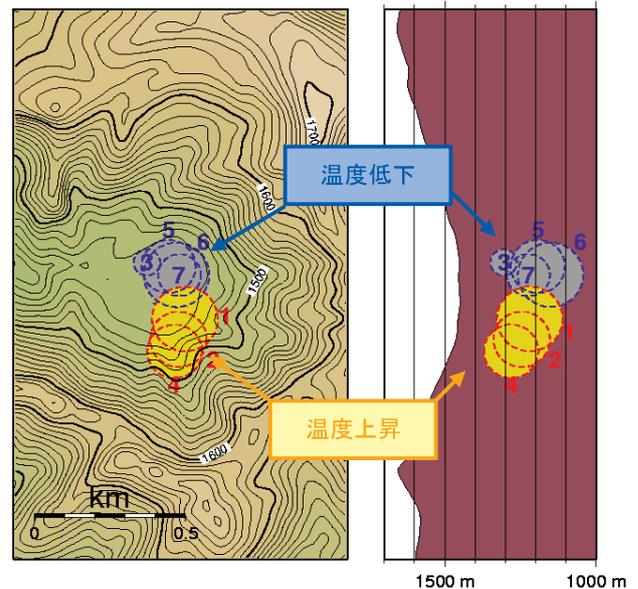
テストフィールドとした安達太良山は福島県の中程に位置する火山である。1899年から翌年にかけての噴火では、沼ノ平火口で水蒸気爆発をおこし多数の死者を出したこともある。1996年頃から火口底における熱泥噴出など火山活動活性化の傾向がみられたが、地震活動には明瞭な変化があらわれず、地震観測で活動を把握しにくい火山のひとつとみられる。火山現象が地震活動をほとんど伴わずに進行することから、その原因は深部からの熱水の供給と推定される。

安達太良山のような火山の監視には地下の熱水の動きを捉えることが重要である。そのため、すでに実施していた地磁気、GPS観測などに加えて、本研究では自然電位、重力の観測を行った。これらは気象庁の火山観測に未採用の観測であり、従来指摘されている観測・解析上の問題点を改善することも研究のねらいとした。

2.2. 地磁気、GPS観測

1997年から開始した火口付近の地磁気観測では、火山活動に伴う顕著な変化が観測された⁽¹⁾。地磁気変化は地下の岩石の磁氣的性質が温度変化したためと考えられている。第1図に示したように、1997年から2000年頃にかけては火口底の地下の黄色で示した場所で温度上昇が、その後の2000

年頃から2003年にかけては青色の場所で温度降下が推定された。また、GPSによる地殻変動観測⁽²⁾では、2000年頃まで火口付近の膨張が観測され、その後収縮に転じた。これらから、2000年頃を境に火山活動は低下したとみられる。



第1図：地磁気観測によって推定された地下の温度変化 (左) 平面図, (右) 断面図

2.3. 自然電位

地面の微弱な電位分布を自然電位と呼んでいる。地下水の流れが作る流動電位にその原因があるとみられている。火山等ではこれを利用して地下の熱水の動きを捉える試みがなされている。1990年から始まった雲仙岳の噴火では、溶岩ドーム出現に先立って、火口周辺の地域で顕著な自然電位の上昇が観測された。

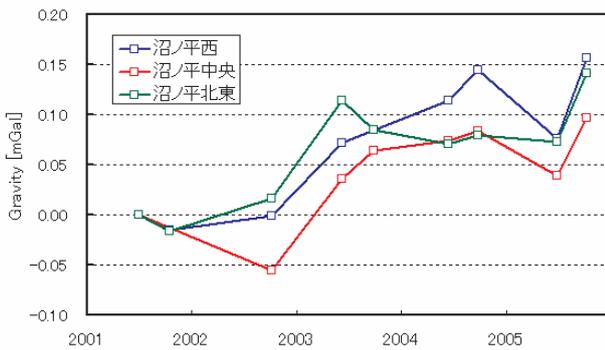
自然電位は微弱であるため、監視のために連続観測を行う際、長期的に安定した観測がむずかしいという問題がある。また、地熱地帯で観測する場合には、地中温度の変化に測定値が影響されるという問題もある。本研究では、安定性の高い銅・硫酸銅平衡電極によって定期的にキャリブレーションを行うことで連続観測の長期的安定性を維持する方法をとり、また観測点の地中温度を自然電位と並行して観測することで、温度補正ができるようにした。

これらの手法によって、電極のドリフトや温度変化の影響として従来なら見過ごされていた現象も、本当の自然電位変

*1：現 気象庁地震火山部

化として検出できるようになった。その結果、火口底に散発的な小さなスケールの熱水活動が散在することがわかった。

安達太良山沼ノ平火口 重力変化 2001-2005



第2図：沼ノ平各観測点の重力の時間変化

2.4. 重力

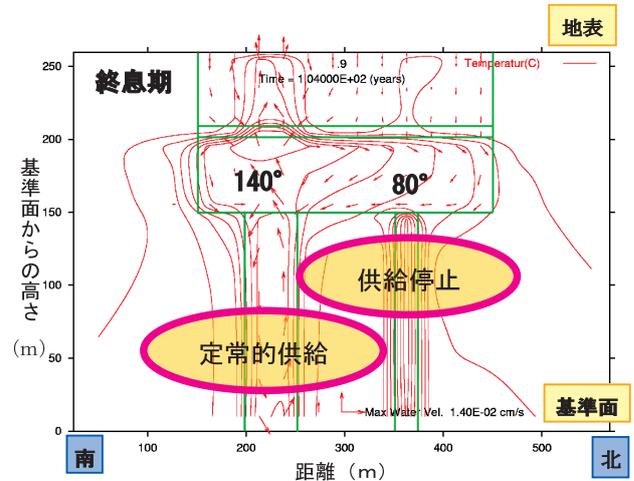
山体とは密度の異なるマグマの貫入や地下水の変動など質量の移動があると、地表の重力が変化する。2000年三宅島噴火や2004年浅間山噴火では精密な重力加速度の測定からマグマの動きが推定された。重力は、観測点の標高の変化にも影響を受ける。そのため、火山活動によって観測点に隆起や沈降があると、地下でマグマなどの動きが無くても見かけ上の変化が生じるという問題点がある。本研究では、重力の繰り返し観測点でGPS観測を並行して行い、標高の変化が補正できるような手法で重力観測を行った。

第2図に沼ノ平火口で観測された重力変化を示した。これらの変化は観測点の標高変化で説明することはできない。おそらく観測期間中にみられた火山活動の低下に伴う地下水(地下水位)の変動を反映したものと推定される。標高等の補正を行った結果では、火口底に5年間で2.5～3.5mの地下水の流入があったとすれば説明できる。

2.5. 熱源と熱水循環のシミュレーション

安達太良山では火山活動が熱水の動きに密接に結びついているとみられる。そこで、深部から熱水の供給を受けたとき地下水の流れや温度分布がどのように変化するかを調べるために、熱源と熱水循環の数値シミュレーション(熱水シミュレーション)を行った。熱水シミュレーションは1970年代に定式化され、1990年代に進歩した手法である⁽³⁾。近年、少数ながら雲仙岳などの火山に適用した例がある。本研究では沼ノ平火口付近の地下の浸透率や空隙率をモデル化し、様々なケースについて計算を行った。その結果、地磁気観測から推定されるような温度変化を説明するには、南北2箇所熱水供給源が必要であることなどが明らかになった(第3図)。

これは、地震観測で火山活動がとらえにくい火山の場合も、地磁気、重力、自然電位、火口付近のGPS観測とこのような熱水シミュレーションを組み合わせることで、火山活動の総合的な把握ができることを示している。



第3図：熱水シミュレーションによって推定された熱水の流れと温度分布(沼ノ平火口地下の断面図)

3. まとめ

テストフィールドとした安達太良山のような火山では、地震活動をほとんど伴わずに火山活動が活発化することがある。その原因は地下深部から浅部へ供給される高温の熱水と考えられている。熱水は様々な火山現象を引きおこし、その最悪の場合が水蒸気爆発といえる。

本研究の成果として、安達太良山のような火山では、地磁気、重力、自然電位、火口付近のGPS観測など複数の観測を熱水シミュレーションと組み合わせることが、火山活動を総合的に把握する有力な手法であることが明らかになった。この手法は同様の火山における水蒸気爆発のポテンシャルを持つ熱水活動のモニタリングに活用できる。

参考文献

- (1) 気象研究所他, 1999: 安達太良山沼ノ平火口の地磁気変化(2), 火山噴火予知連絡会会報, 第73号, 64-67.
- (2) 気象研究所, 2003: 安達太良山沼ノ平火口の地殻変動-1998年~2002年10月-, 火山噴火予知連絡会会報, 第83号, 20.
- (3) Ingebristen, S.E. and D.O. Hayba, 1994: Fluid flow and heat transport near the critical point of H₂O, Geophys. Res. Lett., 21, 2199-2202.