

サイエンスピックアップ

火山噴火がもたらす気候への影響

昭和 57 年天文及び地球物理学科第二（地物）卒 東北大学大学院理学研究科 教授 早坂 忠裕



今年（2022 年）1 月 15 日に南太平洋のトンガ王国で海底火山が噴火した。噴火の規模も比較的大きく、人工衛星の観測によれば噴煙は高度約 30 km の成層圏まで到達したことが確認された。また、今回の噴火によって今までとは

違うメカニズムの“津波”が発生し、日本においても潮位の変化が観測されたことは記憶に新しいところである。火山噴火は近傍の地域や住民に大きな被害をもたらす一方で、気候に影響を及ぼすことも昔から指摘されている。これは、火山噴火によって成層圏のエアロゾル（大気中の浮遊微粒子）が増加し、太陽放射を遮るために地表面に到達する日射量が減少することに起因する。

本稿では、火山噴火とその気候への影響について、歴史的な事例を紹介し、その一般的なメカニズムについて解説する。

近年における最大規模の噴火であり、かつ様々な記録が残っている事例は 1815 年 4 月 10 日から 12 日にかけて噴火したインドネシアのタンボラ火山である。噴火により約 4000 m の高さの山頂が 2850 m になった。噴火後には約 71000 人以上が死亡している。また、噴煙は 43 km まで到達したと推定されている。

H. ストンメルと E. ストンメル著書「火山と冷夏物語」によると、噴火の翌年 1816 年には、北アメリカ大陸北東部で記録的な冷夏になった。6 月 6～11 日に最初の寒波が襲い、ニューイングランド地方北部で吹雪になり、7 月 9 日にはメイン州ブランズウィックで朝の最低気温が 0.8℃を記録し、霜が観測された。このような冷夏の状況により、ニューイングランド地方では農作物のほとんどが全滅したと伝えられている。

この年はヨーロッパにおいても冷夏となり、飢饉が発生した。ジュネーブでは夏の気温が 1753 年以降で最低を記録し、トウモロコシ等の穀物が不作になった。その結果、翌 1817 年にはスイスで穀物の価格が 3 倍に高騰した。フランスでは政治的混乱の中で凶作のため食糧不足となり、群衆が市役所に押し入り穀物を略奪するなど各地で暴動が発生した。

さて、それでは火山が噴火するとどのようなメカニズムで気候に影響を及ぼすのであろうか。大規模な火山噴火においては噴石などとともに大量の火山灰が噴出され、大気中に注入される。対流圏内では降水により洗い流されてしまい 1 週間程度で除去される。成層圏に到達した火山灰は 1～2 か月程度滞

留するが、空気が薄いためにいずれは重力で落下し除去される。一方、火山が噴火すると火山灰に加えて亜硫酸ガスも放出され、大規模な噴火の場合はこれも成層圏まで到達する。亜硫酸ガスは酸化されて硫酸の液滴に変化する。これに要する時間は約 1～2 か月かかり、直径 0.1～0.2 ミクロン程度のエアロゾルが形成される。硫酸粒子は火山灰よりも小さいので、その後、1～2 年間、長い時には数年にわたって滞留する。このエアロゾルが地表に届く太陽放射（日射）を減少させることになる。その結果、地表気温が下がることになる。

成層圏の硫酸エアロゾルが気候に及ぼす影響を考える際に、もう一つ注目する点がある。それは、成層圏内におけるエアロゾルの輸送である。成層圏においても対流圏上部と同様に東西方向の風が卓越しており、成層圏のエアロゾルは噴火後 2～3 週間程度で地球を東西方向に 1 周する。この時点では火山灰エアロゾルと硫酸エアロゾルの両方が存在している。その後、数ヶ月から一年程度の間にブリュワー・ドブソン循環と呼ばれる成層圏内の南北方向の輸送メカニズムによって硫酸エアロゾルが全球に広がる。ここで重要なことは、噴火する火山の緯度である。ブリュワー・ドブソン循環では基本的に熱帯から極域に物が運ばれるので、熱帯で火山が噴火するとエアロゾルが全球に輸送され地球全体を覆うことになる。したがって影響も全球規模になる。一方で、高緯度にある火山が噴火した場合は、それよりもさらに高緯度には影響するが、低緯度そして反対側の半球には輸送されにくく影響を受ける地域は限定的になる。

1991 年 6 月に噴火したフィリピンのピナツボ火山の際には、陸域の平均で最大約 0.5℃気温が低下したことが観測されている。しかしながら、気候影響の地理的な分布と時間進行は複雑で、噴火後半年程度の間には、地表気温が低下する地域と逆に上昇する地域も見られた。たとえば、1991 年の冬には北アメリカ、北ヨーロッパ、シベリア東部、および南極地域では大気下層の気温上昇が観測されている。

一方で、エルニーニョ現象のように地球自身が持つ自然変動のリズムもあり、ある程度大きな火山噴火でないと、その影響を正確に評価することは難しい。先に述べたタンボラ火山のように極めて大きな噴火の場合にはより明確に気候影響が現れると考えられるが、噴火の規模が大きい場合には気候への影響評価には限界がある。地球温暖化が進む現在、火山噴火による地域的な気候影響の評価にはまだまだ研究の余地が残されている。

サイエンスピックアップ

太陽・磁気圏由来の高エネルギー粒子の痕跡を追って

平成 20 年宇宙地球物理学科 (地物) 卒 情報・システム研究機構 国立極地研究所 助教 西山 尚典



地球の大気は地表から高度 100 km 付近まで、概ね流体として振る舞い、乱流による拡散が組成を一定に保ちます。一方で、高度 100 km 以上の超高層大気と呼ばれる領域は、密度が非常に希薄なために、X 線や極端紫外線による

大気の「電離」と、個々の大気粒子による運動や拡散が支配的になっていく領域で、高度とともに電離気体である「プラズマ」で満たされた惑星間空間へと遷移していきます。地球大気は太陽から放射される幅広い波長の電磁波や、太陽大気（コロナ）を起源とし惑星間空間を伝播する超音速のプラズマ流「太陽風」によって、様々な時間スケールで絶えず変動しています。近年、太陽-惑星間空間-地球大気を 1 つのシステムとして考え、性質が大きく異なる領域を結合させた「Whole Atmosphere」として地球大気を扱うことが、気候変動を含む将来的な地球環境変動の将来予測に重要であると認識され始めています。

気象現象が起こる対流圏（高度 10 km 以下）と、比較的電離度が高く短波通信などの電波伝搬路として重要な超高層大気は古くから研究が進んできました。一方で、両者の間は「中層大気」と呼ばれる永年未知であった領域で、オゾンホールが初めて報告された 1984 年を一つの契機として、本格的な理解が進んだのはここ 2-30 年のことです。特に、中間圏（高度 50-80 km）は、気象観測用のラジオゾンデでは到達できず、直接観測はロケットに限られていました。しかしながら、1970 年代に超高層大気用レーダーの観測データに中間圏からの電波エコーが発見され、その観測技術が大気レーダーとして実用化されると、中間圏における風速の測定や様々な大気波動の特性導出が可能となりました。このようなレーダー観測と数値モデルの発展により、グローバルな大気循環における中間圏の重要性が意識され始めました。

最近では、太陽や地球磁気圏から飛来する高エネルギー粒子による中層大気への影響が注目されています。太陽の爆発現象「フレア」発生に伴う高エネルギーの陽子（数 MeV-数 10 MeV）や、地球磁気圏に捕捉された準相対論的電子（数 100 keV-数 MeV）は、中間圏の高度まで侵入し、その場の大気粒子と衝突することでエネルギーを失いますが、その過程で大気の電離や化学反応を誘発します。この

際に生成された NO_x (NO や NO_2) や HO_x (H や OH 、 HO_2) は、オゾンの減少反応の触媒として作用するため、オゾンという熱源を失った中層大気の温度構造の変化やそれに伴う大気循環への影響が指摘されています。2000 年代に入り、衛星によるリモートセンシングから実際に NO_x や HO_x の増加に伴ってオゾンが減少する例が多く報告されましたが、一方で、高エネルギー粒子が中層大気に侵入し、大気との衝突によりエネルギーを失う現場は、その前後を含めた時間発展や詳細な高度範囲を計測する手段が限られており、現象の把握すら遅れていました。

そこで私たちは 2015 年から本格稼働を開始した南極昭和基地の大型大気レーダー（PANSY レーダー）を活用しこの問題に挑戦しました。PANSY レーダーは 1000 本のアンテナで高速に送受信ビームを走査することのできる南極唯一かつ最先端の大型レーダーです。大気レーダーの送信する VHF 帯の電波は、中間圏においてわずかに大気中に存在する自由電子の密度で決まる屈折率に従い伝播しますが、大気波動が破碎する際に作り出す乱流が屈折率に揺らぎを作ります。屈折率の揺らぎはレーダー送信波を散乱させ、特に送信波の半波長スケールの揺らぎはブラッグ散乱による強い散乱波を作ります。これが大気レーダーで観測される中間圏からの電波エコーの正体です。電波エコーの強度は理論的に、自由電子の密度とブラッグスケール揺らぎの空間スペクトル密度で決まります。実際に PANSY レーダーの電波エコーを解析してみると、太陽や磁気圏を起源とする高エネルギー粒子の流入時に中間圏の電波エコーの強度が急激に増大していることが分かりました。飛来する高エネルギー粒子によって、中間圏の自由電子が増加していることを示唆する結果です。検証のために行った中層大気の電子密度モデル計算とも概ね整合的でした。さらに、電波エコーの出現高度・地方時依存性とその季節変化を調べると、長期的には中層大気の電離に太陽からの X 線や紫外線が重要である一方で、従来の定説以上に高エネルギー粒子による短期的な電離が頻発していることが明らかになりました。大気レーダーによる中間圏電波エコー強度は、その生成原理から必ずしも電子密度だけで決まらないのですが、他に類を見ない優れた時間分解能（数分程度）かつ距離分解能（600 m 以下）で、飛来する高エネルギー粒子の痕跡を捉えることが可能であることを示しました。この研究結果に対して、この度は泉萩会森田記念賞を頂き、ご関係の皆様ならびに共同研究者の皆様に厚く御礼申し上げます。

サイエンスピックアップ

探査機と地上望遠鏡で迫る金星雲の新たな姿

平成 19 年宇宙地球物理学科卒 北海道情報大学経営情報学部 准教授 佐藤 隆雄



明け方の東の空や夕方の西の空に一際輝いて見える星を一度もご覧になったことがない方はいないことでしょう。金星は太陽から二番目に位置する惑星で、大きさや質量が地球と同程度であることに加えて、誕生の仕方や時期、材料物質がほぼ同じと考えられていることから、地球の双子星と呼ばれています。しかし、今日の姿は似ても似つかないものです。まず、金星の大気は主に二酸化炭素（96.5%）と窒素（3.5%）から構成されており、地表面は摂氏 464 度（ピザ窯の温度に相当）、92 気圧（水深 900 m の深海の圧力に相当）という高温高圧環境となっています。一説によると、金星は過去のある段階で海を失い、海に溶けていた大量の二酸化炭素が大気中に放出されたことで温室効果をもたらし、今日に至るとされています。次に、高度 47-70 km には硫酸からなる光学的に厚い雲が全球を隈なく覆っています。この雲層は太陽光の 78% を反射する一方で、残りの大部分を吸収しており、惑星のエネルギー収支に大きな役割を果たしています。金星が明るく輝いて見える理由は、この雲が可視光線をよく反射するためです。最後に、雲頂（約 70 km）で観測されているスーパーローテーションと呼ばれる風の存在です。金星の固体部分は地球とは逆方向に 243 地球日をかけて自転しています。しかし、紫外線で雲を観測すると Y 字形を横倒しにした模様が自転と同じ方向に約 4 地球日で一周することが知られています。このような全球的に非常に速い風であるスーパーローテーションの生成メカニズムや維持について探査することが、日本の惑星探査機「あかつき」の主題となっています。

筆者らは、金星を特徴づけている雲の形態や構造を明らかにするため、まず、すばる望遠鏡の中間赤外分光撮像装置 COMICS による連続撮像データを解析しました。雲頂温度に応じた熱放射を、金星の昼夜を問わず同質で観測できる中間赤外線は、雲頂の形態を調べるのに適していますが、「あかつき」以前は長らく利用されていませんでした。この解析により、南北両極域の雲模様が同期しながら西向きに回転している現象や様々なスケールの微細構造が雲頂に存在することを初めて示しました。紫外線で見られる Y 字形を横倒しにした模様と類似するものも見つかっています。紫外線と中間赤外線で同時観測したわけではないので推測の域を出ませんが、紫外線模様の成因である未同定吸収物質の水平分布の濃淡

が引き起こす大気加熱の違いによって大気温度または雲構造が変化し、その結果を中間赤外線で観測していると解釈できます。次に、「あかつき」搭載の $2\mu\text{m}$ カメラ「IR2」が $2.02\mu\text{m}$ フィルターで取得した金星の昼面画像から、雲頂高度の緯度構造や太陽地方時依存性について研究を進めました。二酸化炭素は場所に依らず一様の高度分布をしており、二酸化炭素の吸収帯における反射太陽光の明暗は、反射体である雲層までの光路長の違い、つまり雲頂高度の違いを反映しています。 $2.02\mu\text{m}$ 画像はこの原理を利用しており、大気放射伝達モデルと反転解析により雲頂高度を導出しました。雲頂は赤道対称構造をしており、低中緯度では比較的一様で高度 70 km に位置しています。しかし、緯度 45 度付近を境に急激に下降し、極域では 61 km に達することが分かりました。一方で太陽地方時に対する変化はほとんど見られませんでした。これらは欧州探査機 Venus Express の結果と整合するものです。さらに、雲頂高度分布にも紫外線で観測した時と同様の微細構造が見られる点や大気重力波に伴う定在構造が存在する事など新たな知見を得ることにも成功しました（図 1）。

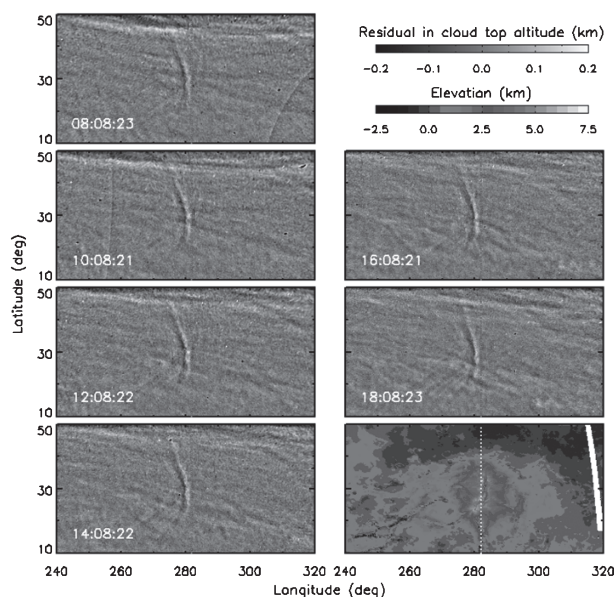


図 1 「IR2」がとらえた雲頂における定在構造。右下は地形の標高を示しており、ベータレジオと呼ばれる高山の上空でスーパーローテーションに流されことなく弓状模様が定在していることが分かる。

ここで紹介しました研究成果に対して、筆者は第 13 回泉菰会奨励賞を受賞しました。賞の選考に携わられた先生方、これまでご指導いただいた先生方や共同研究者の方々に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

サイエンスピックアップ

A Glance of Exoplanet Atmospheres Through High-resolution Cross-correlation Spectroscopy

平成30年天文学専攻博士課程修了 Project Research Staff at Astrobiology Center, National Institutes of Natural Sciences Nugroho, Stevanus K.



Nine is the total number of planetary bodies that we knew in our universe back before the discovery of the first exoplanet (a planet outside our solar system) around a sun-like star by Michele Mayor and Didier Que-

loz in 1995 (and before the demotion of Pluto in 2016). The exoplanet is called 51 Pegasi b, which is taken from the name of its host star, 51 Pegasi, and was discovered using a technique called radial velocity.

Celestial bodies in a planetary system are orbiting the center of mass of the system. As the host star is the most massive in the system, the center of mass is very close to the center of the star therefore, at glance, it looks like all the other bodies in the system are orbiting the host star. In reality, the host star is also orbiting around the center of mass although very slowly compared to the movement of other bodies. When it moves toward us, its spectrum will appear slightly 'squeezed' or blue-shifted, and when it moves away from us it will appear slightly 'stretched' or red-shifted. This phenomenon is called the Doppler effect. These squeezes and stretches measure the radial velocity of a moving object, in this case, the host star. The more massive the other celestial bodies around the star, the larger the amplitude of radial velocity of the star, and by measuring the period of the Doppler effect we can calculate how far the other celestial bodies are orbiting the center of mass of the system.

For 51 Pegasi b, the amplitude of the radial velocity is about 50 meters per second, and the period is 4.2 days. Considering the mass of the star, this translates to a celestial body with a minimum mass in between Jupiter and Saturn mass orbiting much closer to its host star than our Mercury to the Sun. This extremely tight orbit tidally locked the planet so that one side of the planet is constantly facing the host star and makes its equilibrium temperature (T_{eq}) hotter than 1000 K hence we called it a hot Jupiter. This discovery marked a new era in as-

tronomy, the era of the exoplanet.

Many exoplanets were found after that. In 2000, a team led by David Charbonneau found a planet, HD 209458 b, transiting a sun-like star. Unlike 51 Pegasi b, HD 209458 b passes in front of the star for some amount of time dimming its light periodically. By measuring how strong this dimming is the size of the planet can be calculated, and its period tells us how far away the planet is from the host star. The atmospheric elements in the exoplanet atmosphere influence the stellar light that passes through it, thus by studying the exoplanet's transmission spectrum we will be able to tell the chemical composition of the atmosphere. Additionally, when an exoplanet disappears behind the star and reappears later, we can also study the emission spectrum of the planet which will tell us not only the atmospheric composition of the dayside of the planet but also its thermal structure. These atmospheric characterizations can be done using broadband photometry, and low- or high-resolution spectroscopy.

Today, we have known more than 5000 planets orbiting stars in our galaxy alone, thanks to the dedicated space-borne and ground-based exoplanet surveys like Kepler, TESS, WASP, HAT, etc. The detailed characterization of Earth-like planet atmospheres, however, is still out of reach with the available facilities. The most feasible target at the present is hot Jupiter around bright stars. The extreme temperature inflates their radius making the scale height and planet-to-stellar flux ratio high enough. These allow us to obtain their spectrum at a high signal-to-noise ratio (S/N) ideal for detailed atmospheric characterization and the development of more advanced observing and data analysis techniques.

One of the most successful techniques is high-resolution cross-correlation spectroscopy. Unlike low-resolution spectroscopy, high-resolution spectroscopy resolves the atomic/molecular bands in the exoplanet spectrum into individual absorption lines. Compared to the movement of its host star around the center of mass of the system, the exoplanet moves at a much higher velocity (e.g., in tens or

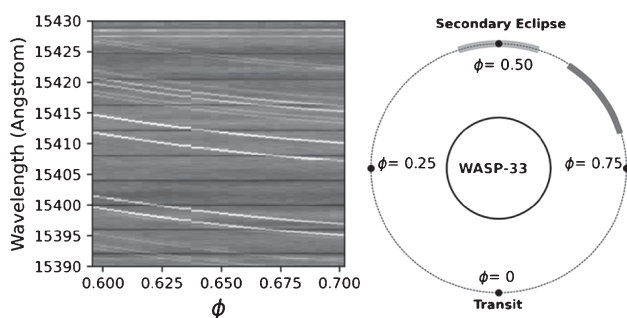


Figure 1. *Left*: The exaggerated OH emission spectrum of WASP-33b (bright lines) simulated being observed after its secondary eclipse phase as a function of orbital phase (Φ). The planetary spectrum can be robustly distinguished from the static telluric lines (dark lines) allowing us to detect OH unambiguously. *Right*: the schematic of the “observed orbital phase” of WASP-33b.

hundreds of km/s rather than several m/s). The variation of Doppler shifts caused by its orbital motion enables absorption/emission lines in the exoplanet spectrum to be distinguished from the quasi-static telluric lines (see Figure 1). Although each of these absorption/emission lines has quite a low S/N, we can boost its overall S/N by combining thousands of unique lines using cross-correlation, thus the atomic/molecular signatures can be identified and detected unambiguously. This technique is extremely sensitive to the planetary line profiles (position, width, strength) such that if the detected signal is strong enough, we can constrain the thermal structure of the atmosphere, measuring the projected rotational spin, wind speed, and even investigating the homogeneity of the exoplanet atmospheres.

By applying this technique, we searched for atomic and molecular signatures on the emission and transmission spectrum of ultra-hot Jupiters, hot Jupiters with T_{eq} of 2200 K. Using High Dispersion Spectrograph (HDS) on the Subaru telescope, we detected the emission of TiO and Fe on the dayside of WASP-33b indicating the existence of stratosphere in one of the hottest exoplanets ever discovered. Recently, we also detected the emission of OH on its dayside using the InfraRed Doppler instrument (IRD) on the Subaru telescope. This is the first detection of OH in the atmosphere of a planet beyond the solar system.

In the atmosphere of our planet, the reaction of ultra-violet with H_2O and O_3 produces OH. This gas has an important role to remove CH_4 , CO, and other

pollutant gasses that can be dangerous to life or contribute to global warming in the Earth’s atmosphere. Meanwhile, in the atmosphere of a much hotter planet like WASP-33b, most of the molecular species are destroyed, leaving those with high dissociation temperatures like CO and OH, and indeed we detected the signature of OH emission as a product of thermal dissociation of H_2O consistent with the theoretical prediction. In this planetary population, OH determines the chemistry of the atmosphere through interactions with H_2O & CO and is expected to be one of the most dominant O-bearing molecules. This discovery shows that we can begin to understand the detailed chemistry in the atmosphere of the ultra-hot Jupiter population.

Using archival data of HARPS-N and CARMENES, we detected the signature of Fe absorption in the transmission spectrum of KELT-20, an ultra-hot Jupiter with T_{eq} of 2200 K. Interestingly, the signal is highly blue-shifted and has a double-peak feature seen in four different transits. We showed qualitatively that this can be explained due to the inhomogeneous atmosphere, an explanation that was recently confirmed by a more sophisticated 3D global circulation modeling which also shows that it is possible to tell if the atmosphere has a strong or weak atmospheric drag.

Future transit, radial velocity, and direct imaging surveys will hopefully find Earth-like planets in the habitable zone of nearby bright M-dwarfs. These planets would likely be tidally locked producing a large day-night temperature difference. This creates unique atmospheric dynamic phenomena affecting the global distribution of atmospheric bio-signatures (e.g., extreme day-to-night winds, rotational-induced circulation) which, if not fully understood, might lead to a false-positive/negative conclusion of its habitability. High-resolution cross-correlation spectroscopy can help us to improve our understanding of the atmospheric dynamics and 3D atmospheric properties of tidally locked planets. By applying it with future facilities like Thirty Meter Telescope, European Extra-Large Telescope, and combining with James Webb Space Telescope, we will hopefully come closer to answering the ultimate question, “Are we alone in the universe?”.

サイエンスピックアップ

海底観測から迫る 2011 年東北地方太平洋沖地震の全貌

平成 30 年地球物理学科 (地物) 卒 東北大学災害科学国際研究所 助教 富田 史章



2011 年東北地方太平洋沖地震（以後、東北沖地震）は、1900 年以降に発生した地震の中では、日本最大であり、世界でも 4 番目に大きい地震となりました。東北沖地震がどのような地震であったかは、地震波観測・津波観測・海底

地形調査・測地観測等の様々な調査から明らかにされてきており、東北沖地震時には最大 60 m にも及ぶ断層すべりが宮城県沖の日本海溝まで達したことが分かってきています。一方で、巨大地震の発生後には、「余効変動」と呼ばれる特徴的な地殻変動が発生することが知られています。この余効変動は、地震に伴う変動がプレート下のマントル等の粘性によってゆっくりと伝わる「粘弾性緩和」、地震時の断層すべり域の周囲でゆっくりとした断層すべりが進行する「余効すべり」等のいくつかの要因によって発生します。この余効変動の影響を正しく評価することは、地下の粘弾性構造の理解や、プレート境界での歪みの蓄積状態の把握、プレート境界における摩擦特性の理解に繋がり、今後のプレート境界での地震活動を評価する上で極めて重要です。

こうした余効変動を捉えるには、測地観測が有効です。陸上の測地観測でも余効変動を捉えることは可能ですが、より現象の本質に迫るには、地震の発生源の近くの海底で測地観測を行うことが重要です。そこで、我々の研究グループは GNSS 音響結合方式と呼ばれる海底測地観測手法によって東北沖地震に伴う海域での余効変動の大局的な検出を試みました。電波が通らない海底で精密に測地を行うには、海底に音響測距装置を設置した上で、海上プラットフォーム（研究船等）における GNSS 測位と海上・海底間の音響測距を組み合わせて、海底の測位を行います。この観測により、地震時すべりが大きかった宮城県沖では粘弾性緩和によると考えられる西向きの動きが顕著であり、その南側の福島・茨城沖では余効すべりによると考えられる東向きが顕著であり、逆に北側の青森沖では顕著な余効変動が見られないことが明らかになりました（図 1：黒ベクトル）。

次に、得られた観測成果を用いた新たな余効変動のモデル化手法の開発を行いました。これまで余効変動のモデル化は、既存の地震時すべりモデルから期待される粘弾性緩和の影響を予め取り除いた上で、余効すべりをモデル化することが一般的でした。しかし、この粘弾性緩和という現象を介して、余効変動観測データが地震時すべりに関する情報を持って

いることに着目し、地震時すべりと余効すべりを統一的にモデル化する手法を開発しました。これにより、宮城県沖の沿岸域と福島沖の日本海溝近傍で余効すべりが顕著であったことに加え、地震時の大きな断層すべりが従来手法で推定されたモデルよりも北側の日本海溝近傍まで広がっていたことが明らかになりました（図 1）。

このように、地球で発生する現象を明らかにしていく上では、実際にどのような現象が起こっているかを綿密に掌握する「観測」活動とそれらを正しく「モデル」化をすることが重要です。現状、開発した地震時すべりと余効すべりを統一的にモデル化する手法は、簡略化のために一部で大胆な仮定を置いています。今後は、海底測地データ解析自体の高度化と最新の観測データの導入による「観測」側の発展と、先に述べた仮定を除いたより尤もらしい「モデル」化手法の開発を行うことで、観測とモデル化の両面から東北沖地震の全貌の解明と今後のプレート境界での断層すべり現象の評価に取り組んでいく見込みです。

最後になりますが、この度の泉菰会奨励賞の受賞にあたっての実績は、共同研究者をはじめとした多くの方々のご助力があって得られたものです。海底測地観測は、そもそも観測データを得ること自体が困難を伴うものであり、大変多くの方々の力によって支えられております。ご関係の皆様には、心から御礼申し上げます。

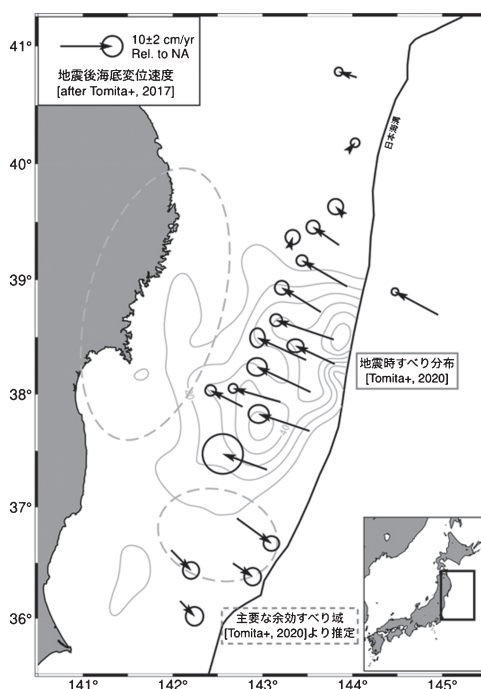


図 1 東北沖地震後の変位速度と断層すべり域