

磯焼けの話② 地球温暖化と海流

～トンガ諸島の巨大噴火に伴う噴出物のゆくえ～

技術士（衛生工学・建設・環境） 鍵谷 司

はじめに

前回の『環境施設』第166号（2021.12）では、「地球温暖化は海流にどのような影響を及ぼすか？～海洋を循環する表層海流と異常気象（I）～」と題して、地球温暖化と海流、このうち、表層海流の発生と気象を取り上げた。北半球では赤道から北極へ向かう海流が発生するが、地球が自転しているので転向力（コリオリの力）が働き、進行方向に対して右へと転向し、南半球では南極に向かって海流が左へと曲がり、循環流が生じることを解説した。また、海洋の海水温の変動は、二酸化炭素の溶存量にも大きな影響を及ぼし、水温が上昇すると海に溶けていた二酸化炭素が大気へ放出され、温暖化を一層促進することを紹介した。

今回は最終回として、表層海流よりも地球の気象に重大な役割を担っている深層海流に注目して寄稿すると予告していた。しかし、つい最近の2022年1月15日に南半球のトンガ諸島において海底火山が巨大噴火を起こし、その噴煙は高度20kmの成層圏まで達し、また、島が消えるほどの大規模な噴火で、噴出物による気候変動や海洋汚染が懸念されている。ちょうど、表層海流の原理や循環流について解説を試みていたこともあり、情報は少ないものの大気や海洋に流出した噴出物のゆくえが非常に気になった。ほぼ30年前に起こったフィリピンのピナツボ火山の大爆発で気候変動が起こり、凶作となってタイ米が輸入された記憶がある。今回の噴火の位置は南半球であるが、気流（風）と海流の基本的な特性から日本への影響を予想してみた。

1. 南半球トンガ諸島で発生した海底火山

1. 1 トンガ諸島と海底火山について

（1）トンガ諸島と火山帯！

図1に示すように、トンガ諸島は、オーストラリアの東側約3,000kmに位置し、ニュージーランド北島から約1,800km離れている。171の島からなる群島であり、島の全面積を合わせても奄美大島と同じくらいであり、南北に約800km広がっている。2021年現在、そのうち45島に居住地があり、ほとんどは無人島である。人口は約10万人で、その70%が本島のトンガタブ島に居住している。なお、トンガ諸島は南半球の南緯約21度付近に位置し、北半球に位置する沖縄（北緯約23度付近）よりもやや赤道に近い。

今回噴火したトンガ諸島の海底火山は、トンガ首都の約65km北に位置し、しばしば噴火を繰り返してきた。この火山は、図2に示すように太平洋を取り囲む世界最大の火山帯である環太平洋火山帯に属している。これまでに多くの巨大地震や巨大火山噴火を引き起こし、2011年の東日本大震

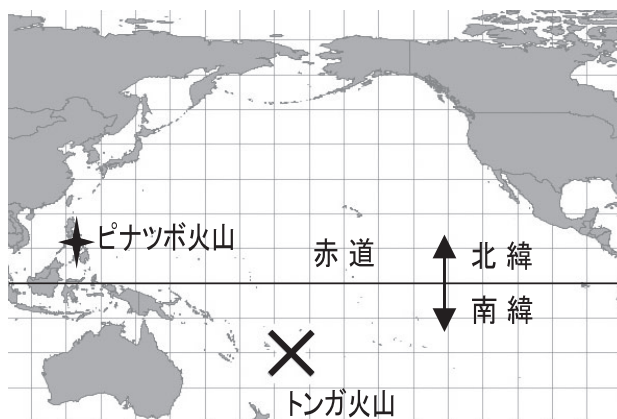


図1 トンガ諸島で起こった噴火地点

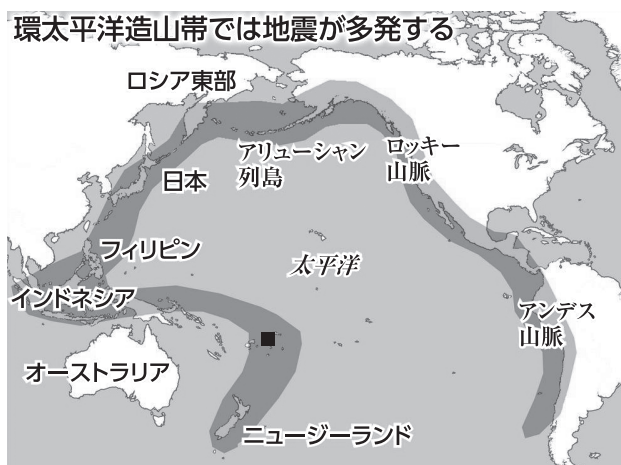


図2 環太平洋火山帯の配置

災や1991年の「世界最大の噴火」といわれたピナツボ火山噴火もこの火山帯に属する。

(2) トンガ海底火山の噴火について

2022年1月15日にトンガ諸島にある海底火山「フンガトンガ・フンガハアパイ」が爆発的に噴火した。周辺では2014～2015年に海底火山の噴火により新島ができ、2021年から断続的に噴火があったが、その後は活動が落ち着いていた。2021年12月の時点で285haの陸地があったが、噴火によりほとんど消滅したとみられる(写真1、写真2)。

気象衛星などから噴煙の高さは上空約20kmの成層圏にまで達し、爆発初期には半径260kmにわたって広がった。とくに、高さ16km以下の対流圏内では、噴出物は、雨や重力で地上に落下して大気圏から除かれるが、それより上空の成層圏に

達すると、微風により拡散された火山灰が長期間にわたって存在するため、太陽光を弱めて気候変動をもたらすといわれる。

火山爆発の規模は、遠く離れた日本やアメリカ各地で、空気振動によると考えられる高さ1mを超える津波が観測された。また、火山爆発の大きさを表す火山爆発指数で5～6で、1991年のピナツボ火山の噴火(指数6)と同じか、やや小さい程度との報道がある。

1.2 フィリピン・ピナツボ火山の噴火：1991.6

ピナツボ火山と同等の噴火規模とあったので概要を調べた。その違いは、①北半球に位置すること、②陸上で発生したことであり、類似性として、①同じ環太平洋火山帯に属し、赤道に近いこと、②噴煙は成層圏に達したことであろう。噴火後には凶作を引き起こすなど気象に大きな影響を及ぼした。

フィリピンの首都マニラから約100kmの距離にあるルソン島西側にあるピナツボ火山は、北緯約15度付近に位置する。1991年6月に陸上爆発では20世紀最大の噴火が起こった。標高1,745mであった火山が、噴火後には1,486mと約260mも低くなった。現地では、火砕流や大量に降り積もった火山灰により甚大な被害に見舞われた。フィリピン政府は、半径20kmを危険区域に設定し、15,000人以上の住民を避難させた。また、上空30kmの成層圏まで噴き上げられた噴出物が地球全体に拡散し、

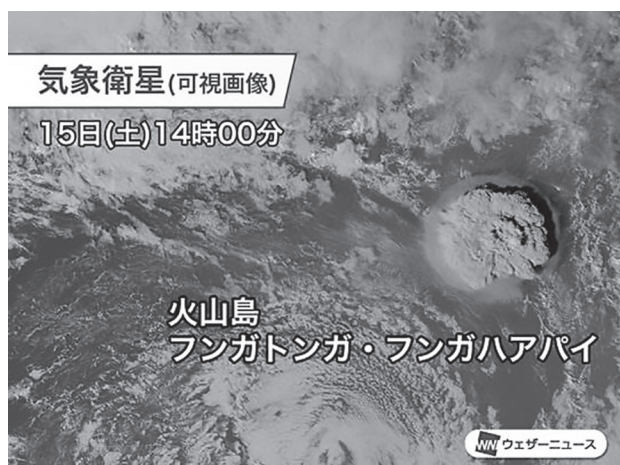


写真1 気象衛星から撮影した爆発時の写真



写真2 火山爆発で消滅した島の中央部分

北半球の平均気温が0.5℃下がったと報道された。

同じ北半球に位置する日本への影響は、噴火翌年の1992年から冷夏に見舞われ始め、1993年の梅雨は、異例の長雨となるなど「大冷夏」になった。農作物の生育は甚大な影響を受け、同年の水稲作況指数は、例年100前後が平均「73」という歴史的な大凶作になった。政府の備蓄米も枯渇するほどの緊急事態となり、「平成の米騒動」と言われた。タイ、中国、アメリカから米が緊急に輸入された。その多くはタイからのインディカ米で、「チャーハン」には違和感はなかったが、改めて「日本の米」の美味しさを見直したものだ。

【参考；大気圏について】

大気圏とは、地球を取り巻く薄い大気の層（地上から100km程度まで）のことで、対流圏、成層圏、中間圏、熱圏の4層に区分される。各層の境界の高度は、概ね10km、50km、100kmで、大気圏の外側は一般に宇宙と呼ばれる（図3）。

①対流圏；地表から高度15km付近の大気圏で、空気が存在し、上空ほど温度が低いので、対流が起こる。雲や雨あるいは台風などの「気象現象」が起こる。火山灰や二酸化硫黄などの噴出物は、大気を覆うが、重力、雨、雪や風により地上に降下して比較的短期間に大気中から除外される。

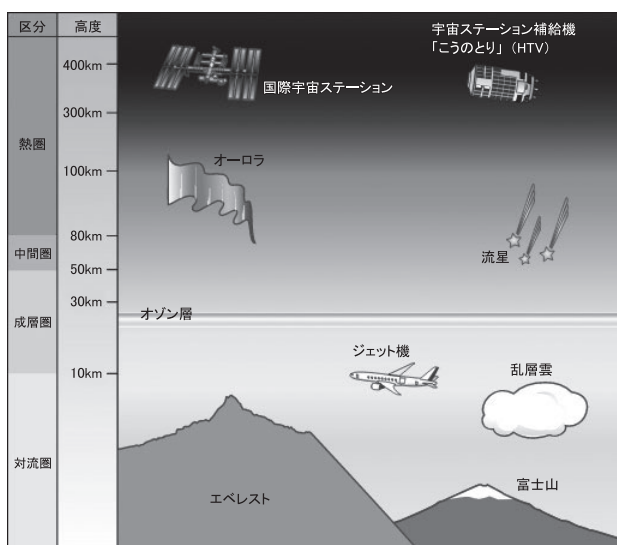


図3 大気圏の構成

②成層圏；対流圏よりも高い高度50kmまでの大気圏で、上空ほど温度が高くなるので、対流は起こりにくい。オゾン層が取り巻いており、これが太陽光の紫外線を吸収する。大気は非常に薄く、対流圏の1/10程度であるが、若干、風がある。対流がほとんどないので、火山の噴出物がこの層に達すると長期間にわたって太陽光を遮るので、気象への影響は長引く。

2. 気流（風）と海流の発生と気象について

2.1 風と海流を生む基本について

地球は球体なので（図4）、赤道付近では多くの太陽光を受けて熱帯に、逆に極地はほとんど太陽光が当たらないので冷帯となる。つまり、緯度が高くなるほど寒くなるので、大きな温度差が生まれ、風や海流を生み出す。逆に言えば、熱の移流することにより地球の温度を安定化させる役割を担っている。

ところで、今年（2022年）1月15日に南半球のトンガ諸島の海底火山で巨大噴火が起こり、噴煙は成層圏にまで達し、膨大な噴出物による気象や海洋への影響が懸念されている。ここでは南半球における風と海流について考えるにあたり、北半球の日本に住んでいるので、大陸、距離感、気象、海流などの状況を把握できている北半球の様子から「ひも解いて」みた。

（1）太陽光による風の発生

地上を吹く風を大きく分けると、1年中ほぼ同

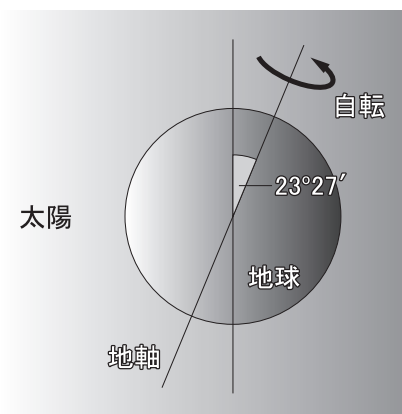


図4 太陽と地球の関係

じ方向に吹いている恒常風と、夏と冬とで風向きが変わる季節風（モンスーン）の2種類がある。恒常風にも貿易風、偏西風、極偏東風があり、海流の生成や流れ方向に大きな影響を及ぼす。

《温度の違いによる気流（風）の発生》

基本的には、図5に示すように、赤道付近（緯度：0度）は、強い太陽光で暖められ、空気、海水ともに膨張する。空気は膨張して軽くなり、上昇して温度の低い極地方向に移流するが、しだいに冷やされて重くなり、北緯30度付近で地表に降下する。降下により空気が多くなるので重くなり、高気圧を生む。つまり、中緯度の高気圧から赤道部の低気圧へ気流が発生し、このゾーンでは、北から南への風が発生する。

一方、北極付近では、空気が冷やされて重くなるので、地表へ降下し、高気圧が発生する。緯度の低い南側は暖かいので空気が上昇し、地表部は低気圧が発生する。このため、極地から低緯度の60度付近のゾーンでは、北から南方向に気流が流れ、北風が発生する。また、中緯度の北緯30～60度のゾーンでは、同じような原理で中緯度から極地に向かう南から北への風（南風）が発生する。

このままでは、気流は、図6に示したように地球の赤道方向から極地に、単調に直線的に流れることになる。

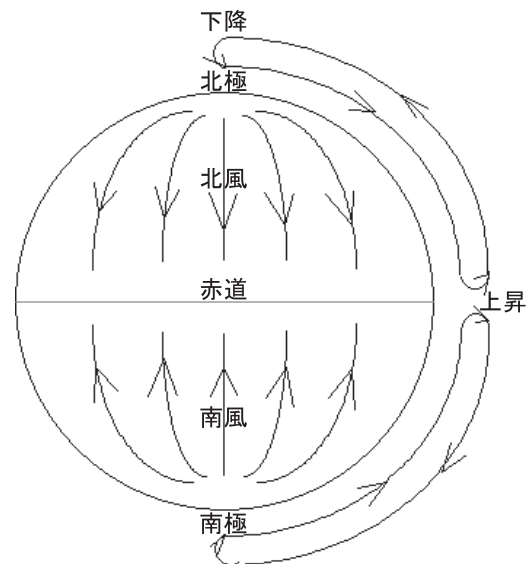


図6 地球が自転していない場合

ところで、地球は西側から東側方向に自転（図4）しているので、気流や海水は東側へ引きずられるように移流する。このように回転運動している物体に対してコリオリの力（転向力）が働き、北半球では風や海流は、進行方向に対して右へ、右へと曲げられる（南半球では左へ曲げられる）という現象が起こる。つまり、回転する地球で運動する気流や海流は、真っすぐには進むことができず、向きを変えたり、循環流を生じる力となる。なお、赤道上では、コリオリの力が働かず、極地ほど大きな力が働く。その結果、一定方向に吹く恒常風や海洋の循環流を生むことになる。

《地球の自転による流れの転向；コリオリの力》

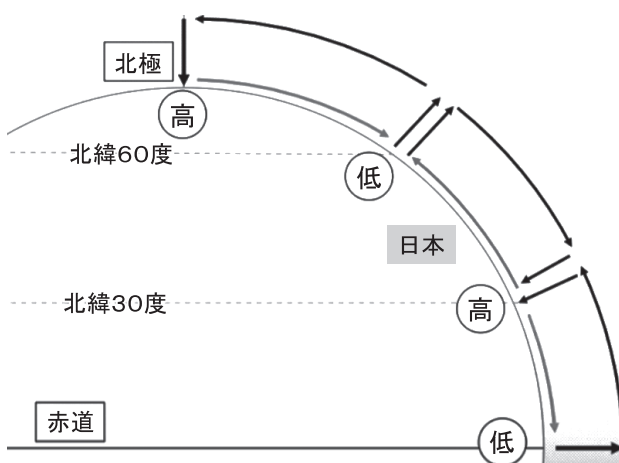


図5 恒常風の発生メカニズム¹⁾

2. 2 北半球における風の流れ

発生した気流が、地球の自転に伴うコリオリの力で、北半球では右へ、右へと転向する様子を図7に示した。なお、南半球では、左へと流れが逆になる。

①貿易風；赤道からおおよそ北緯30度の地域では、地表面を北側から南（赤道方向）に移流した風は、地球の自転により発生するコリオリの力により進行方向に対して右側に曲げられる。つまり、発生した北風は、北東の風として恒常的に発生する。これが東から安定して吹く貿易風である。

②偏西風；緯度がおおよそ35～65度の地域では、

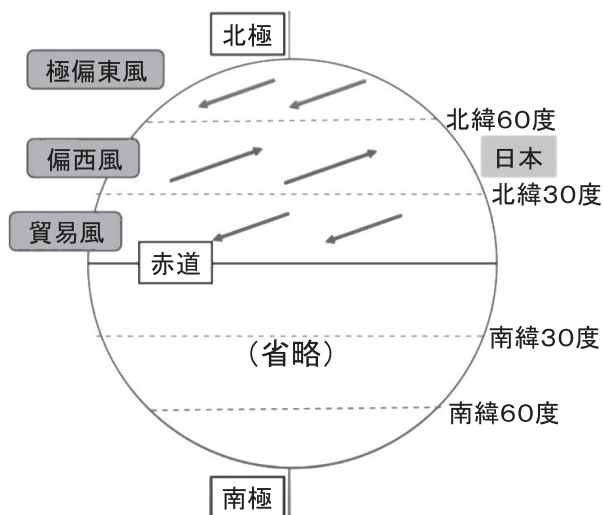


図7 自転に伴うコリオリの力（転向力）¹⁾

30度付近で発生した高気圧から、より寒い北緯65度付近の低気圧に向かって空気が流れる。この南から北へと流れる風は、コリオリの力により右側に曲げられて北西の風として恒常的に発生する。これが偏西風である。

③極偏東風；北極付近では、温度は最も低く、空気が縮んで重くなり、地表に降下して高気圧が、一方、温度の高い高緯度の地域では、空気が上昇して地表面では低気圧が発生する。このため、気流は北から南へと流れ、しだいに暖められて軽くなり、上昇して極地へ戻る。北から南側への気流は、コリオリの力で右側に曲げられるので、安定した北東の風が恒常的に発生する。これが極偏東風である。

④季節風；大陸と海洋の温度差が原因で起こり、夏は、熱しやすい陸が温まるので、海洋から大陸に向かって、冬は冷えやすいので陸から海洋に向かって吹く。東南アジアやインドではとくに著しく、乾季・雨季を生じるものになる。モンスーンともいう。

なお、南半球では風向は北半球と逆になり、貿易風は北半球では北東風、南半球では南東風になる。

ところで、図8に示すように日本付近では、赤道付近で発生した台風が北上し、あたかもアジア

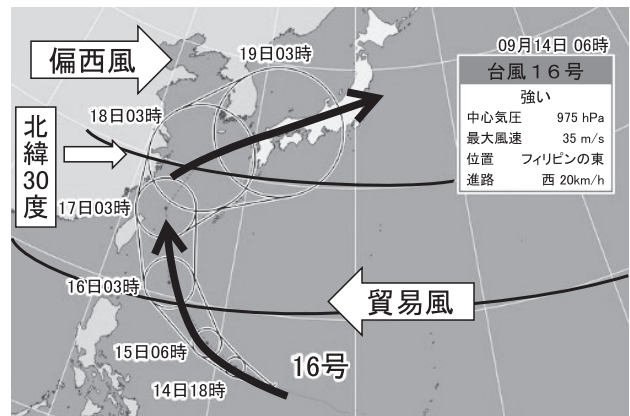


図8 北半球における台風の進路の事例

大陸に上陸しそうなコースを進むが、中緯度あたりから急激に右方向に進路を変えて日本へ向かう。これも北半球では進行方向に対して右側へ曲げる力、コリオリの力が働くためである。

2. 3 北半球における海流の流れ

海水を動かす力には、太陽と地球と月の引力の力関係により干満が発生する。もう一つは、太陽熱と地球の自転により生ずる恒常的な強い風である。風は熱帯地方では貿易風として東から、高緯度地方では偏西風として西から吹き付ける。この風により海流が発生する。

海流は、気流（風）と異なり、大陸や島々等に行き先が遮られたり、地形に沿って流れるなど大きな影響を受ける。

（1）太陽熱による流れの発生

海洋には、決まった向きに流れる「海流」がある。海流は、主に太陽の熱と風によって起こるが、その流れは、大陸、島々、海底地形など多くの要因があり、複雑である。

図9に示すように、赤道周辺の海は、太陽の光を強く受けて暖められ、一方、南極や北極付近は、太陽の光があまり届かないので冷たいままである。暖められた海洋水は膨張するので水位が上昇し、極地の冷たい海水は重くなるので沈み込む。このため、赤道から極地へと向かって流れる海流が発生する。つまり、北半球では、赤道から北極に向かう海流が発生する。

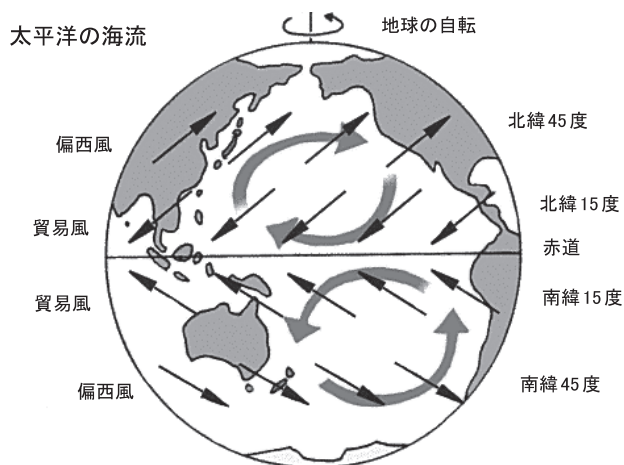


図9 気流（風）及び海流の発生と流れ

（2）地球の自転による転向

北半球では、赤道付近から極地に向かって（南から北へ）移動する海流は、東から西に流れる貿易風に押し寄せられてアジア大陸にぶつかり、地形に沿って北へと流れる。緯度が高くなるにしたがって地球の自転に伴うコリオリの力が大きくなり、進行方向に対して右に大きく曲げられ、北太平洋に循環流が発生する。これを北半球海流という。一方、南半球では、オーストラリア大陸にぶつかった海流は冷たい南極方向に流れるが、南半球ではコリオリの力は進行方向に対して左側へと働き、南米大陸との間を循環する海流が発生する。これを南半球海流と言ひ、北半球とは反対の方向になる。

3. トンガ海底火山噴火に伴う噴出物ゆくえ

通常、火山の噴火で放出される噴出物は、固体（岩塊、火山弾、火山灰、軽石など）、液体（溶岩）、気体（水蒸気、二酸化炭素、硫化水素、二酸化硫黄など）がある。これらが膨大に噴出されたと言われているが、その詳細は今のところ明確でない。とくに、大気汚染物質や海洋汚染物質は、地球規模で移動するので、規模が巨大化すると気象や海洋に大きな悪影響を引き起こす可能性が高い。大気及び海洋に流出したこれらの汚染物質がどのように流れるかについて、南半球における恒常風及び恒常的な海流の特性から考えてみた。

【噴出物の大気・海流拡散について】

トンガ諸島は、南半球に位置するので、日本の位置する北半球とは風（貿易風、偏西風）の方向が逆向きになる。地球が自転しているためコリオリの力（転向力）が働き、北半球では進行方向に対して右に、南半球では左側に曲げられる。赤道近くの高気圧は暖かいので膨張し水位が上昇し、南半球では南極方向への流れが生じる。地球の自転により発生するコリオリ力により、緯度が高くなると進行方向に対して左側に曲げられる。太平洋から南米を循環する海流が主流になり、貿易風ならばインド洋方向に、偏西風ならば南米のアルゼンチン方向に流れると予想される。が、成層圏にまで吹き上げられた噴煙の影響は、緯度にはほとんど関係なく地球規模で長い期間にわたって起こると予想される。原理的にはこのような考え方になるが、実際は「どのような現象になるか？」を注意深く見守りたい。

（1）大気への噴出物の拡散

南半球の赤道に近い緯度では、恒常的に南東の貿易風（北西方向に吹く）が吹いている。大気への噴出物は、おおまかにオーストラリア、インドネシア、タイやインドなどの方向に流れると推測される。とくに、オーストラリアの北東部への影響が大きいと予見され、さらに、貿易風に乗って南半球をさらに広範囲に及ぶことを示唆する。なお、季節風や高山などの地形などの影響を受けるので、影響範囲は拡大すると考えられる。また、南半球の貿易風は、北西方向に吹いているが、赤道近くのゾーンでは、コリオリの力が弱まり、大きな偏りは生じなくなる。つまり、空中を漂う火山噴出物は、赤道の南半球側のゾーン一帯に影響する可能性が高いと考えられる。

（2）海洋へ流出した噴出物の拡散

南太平洋では、赤道付近で暖められて膨張した海水は水位が高くなり、南極方向に流れるが、地球の自転によりコリオリの力が働き、左へ、左へと曲げられる（図10；南太平洋海流）。赤道付近

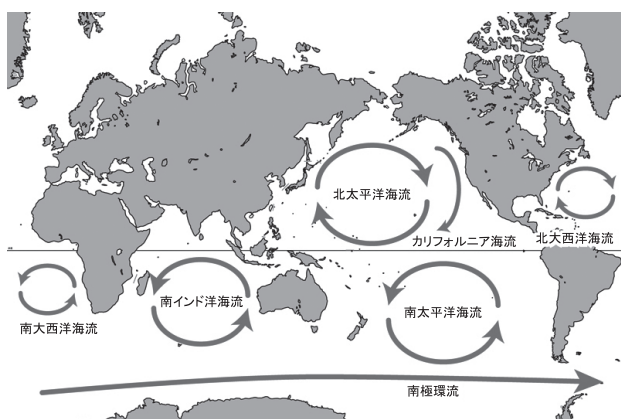


図10 南太平洋における海流の流れ

の転向力は弱いので、西方向のオーストラリア北東部方向に進行し、大陸に阻まれて冷たい南極方向に南下する。緯度が高くなるにしたがってコリオリの力が大きくなるので、大きく左に曲げられ、循環流が形成される。これが南太平洋海流である。つまり、噴出物は、南太平洋を大きく循環する海流に乗り、しだいに南太平洋全体に汚染が拡大し、希釈されるものと推測される。

爆発規模から予想される火山灰が異常に少ないことから、海洋に取り込まれている可能性があり、海洋汚染が懸念される。

(3) 日本への影響について

日本は北半球の中緯度に位置しており、赤道から中緯度の範囲では南西方向に貿易風が恒常的に吹いているので、大気への噴出物の直接的な影響はなさそうである。地球を1周したあとの移流については検討不足なので分からない。一方、海洋に流出した海洋汚染物は、海流は南太平洋をオーストラリア、南米大陸を循環する海流が強いので、北半球に移流することはなさそうである。しかしながら、例えば、軽石の漂着などはなさそうであるが、南太平洋からの回遊魚などへの影響はあるかもしれない。

つまり、海は繋がっているが、流れがあるので、海流同士が簡単に混じりあうことはなく、均一にはならないことを示唆する。

おわりに

磯焼けシリーズの最終稿として地球温暖化の恒常風や海流への影響、ついで世界的な異常気象を引き起こすメカニズムの基本的な考え方を紹介していたところ、最終回の直前に南半球のトンガ諸島において海底火山の巨大噴火が発生し、地球規模で起こると想定される影響が懸念される事態となっている。噴火発生後、まだ通信等が不十分であり、現地の状況が不明な段階であり、日々、情報が集まっている状況である。

同じ環太平洋火山帯に属するフィリピンのピナツボ火山が、約30年前の1991年に陸上火山として最大の噴火が発生し、噴出物による気候変動があり、地球の気温は平均で0.5℃低下したとの報告もある。冷夏、凶作など世界的な被害をもたらしたことは記憶に残っている。

地球温暖化が喫緊の世界的な大問題になり、世界中の国々が脱二酸化炭素に向けた取り組みを最優先で取り組んでいる中、大規模噴火が「寒冷化」や「凶作」を引き起こす可能性も懸念されていることでもあり、専門外ではあるが、基本的な考え方から考察してみた。

地球温暖化を抑制するために世界中で二酸化炭素の排出削減に取り組んでいる。主流は、脱火力、脱原発であり、自然エネルギーを主体として再生可能エネルギーへの転換である。しかしながら、仮にこの巨大噴火が、30年前にピナツボ火山噴火で経験したような寒冷化を引き起こした場合、原油の高騰は必至であり、世界経済や我々の日常生活に計り知れない影響を及ぼすことになりかねない。

〈引用・参考文献〉

- 1) 偏西風と貿易風、YouTube : <https://www.youtube.com/watch?v=PgN3lQJfoSE>