

防災教育における理科教育の役割

飯野直子〔鹿児島大学工学部機械工学科〕・八田明夫〔鹿児島大学教育学部（理科教育）〕

Role of science education in disaster reduction education

IINO Naoko · HATTA Akio

キーワード：自然と人間との関わり・防災リテラシー・自然災害の発生メカニズム・予知予測

1. はじめに

日本は地理的・気象的な条件から自然災害が発生しやすい国土である。2004年はとりわけ災害の多い年であった。災害には大きく分けて自然現象に基づく「自然災害」と主に人為的作用が原因の「事故災害」がある。ここでは議論を自然災害に限定する。自然災害を引き起こす異常な自然現象は、ほとんど不可避であるため、防災対策はその原因を究明して災害の制御、防除、軽減をはかることが重要となる。つまり科学・技術・社会の連携が極めて重要である。

自然災害は、気圏・水圏の現象が誘因の「気象災害」と岩石圏（固体地球）の活動に起因する「地震・火山災害」に大別できる。気象に関する観測や予測の体制は、近年かなり整ってきており、アメダスデータや気象衛星画像、台風情報や洪水予報といったリアルタイムの情報が気象庁から公開されている。また、最近では土壌雨量指数や気象状況から総合的に判断した土砂災害警報も発表されるようになった。しかし、局地的な災害を発生時刻まで予測できる段階にはない。地震や火山災害に関しても、気象庁から地震情報、火山情報などが提供されている。地震が原因で発生する津波については予報体制も整っている。地震の発生や火山活動については長期展望での予知は可能になってきた。しかし短期予測はまだ研究段階にある。

一方で、複合的な災害も多いため、災害の種類に基づく分類も有意であろう。例えば、「洪水」は大雨や豪雪地帯における融雪、氷河の後退によって氷河末端に現れた氷河湖の決壊などによって発生する災害であり、「土石流」は傾斜地や多量の火山灰が堆積した火山において大雨や融雪、

地震などによって発生する災害である。しかし本稿では、現象をより明確に捉えるために災害発生の原因に焦点をおいて議論をすすめる。

災害発生の危機が高まったり発生したりすると、行政から避難勧告や避難指示が出される。しかし、防災において最も重要なことは、危険回避のための最終判断は個々人が行うものであるという点である。「災害」は自然と人間との関わりで生じる。例えば、無人島で土石流が発生したとしても、それは単なる自然現象であって災害ではない。災害を引き起こす誘因とそれぞれの土地が持つ特徴（地形や地盤など）から、そこで発生するであろう災害の種類や危険度・危険領域を正しく理解して適切な対応策を施すと同時に、災害の危機が高まった時には、避難情報や科学的データ・情報及び自らの近辺の状況から防災のための正しい判断を迅速に行うことができるように防災教育、すなわち防災リテラシーの育成を行わなくてはならない。災害の誘因となる自然現象を国民全員が正しく理解し、被害予測ができるようにするために理科教育が果たす役割は非常に大きく、フィールドワークも防災教育の一端を担う重要な活動と言える。さらに、近年の急速な地球温暖化が気象災害の発生頻度と程度を大きくしているとの見方もある。環境教育的視点やSTS教育（Education for Science, Technology and Society）的視点をもって防災教育・理科教育に取り組む必要がある。

本稿では、前半で近年の自然災害や災害の発生メカニズムについてまとめる。その後、災害予測の一例として、三宅島高濃度火山ガスハザードマッピングについて紹介し、最後に防災教育についてのまとめと授業への提案を行う。

2. 近年の自然災害

2004年12月26日のスマトラ島沖地震津波災害は、スマトラ島北部西海岸の約11km沖で起きたマグニチュード9.0の地震により発生した。犠牲者は22万人を超えると推定されている。インド洋においては、それまでにマグニチュード8.0以上の地震が、1979, 1833, 1861年に発生している。今回の大地震は前回から約150年が経過しており、住民の津波に対する認識・知識はかなり低かったと思われる。さらにインド洋には太平洋にあるような津波警報システムが存在しなかったため、津波情報が伝わらないまま津波の来襲を受けたことも被害を大きくした要因の1つであると考えられる(安田他, 2005)。

日本において大きな被害があった地震・津波災害として、1993年の北海道南西沖地震による津波災害が挙げられる。この災害による死者・行方不明者は229名に及んだ。1993年7月12日22時17分頃、北海道南西沖を震源とするマグニチュード7.8の大地震が発生した。震源の南方約80kmに位置する奥尻島では、地震発生後3~5分という、かつてない速さで津波が来襲した。島の西側の藻内地区には30メートルの高さの波がやってきた。青苗岬には2メートル以上の高さの津波が1時間に13回も到来した。青苗地区は10年前の日本海中部地震による津波にも襲われている。そのときは地震発生から17分後に津波が到来した。1993年の津

波では、地震発生のわずか数分後の来襲であったため、車で逃げ出した大部分の人が津波にさらわれてしまった(石垣島地方気象台, 防災システム研究所)。

以下で近年発生した地震、台風・豪雨、竜巻、火山災害などの自然災害を概観する。

2003年10月23日に発生したマグニチュード6.8の新潟県中越地震は、内陸直下型の地震であった。震度7を記録し、40人の死者を出した。地震の3日前には日雨量100ミリを超える降雨があり、地震と豪雨の複合災害となる可能性があった。飛田他(2005)の被害調査速報によると、住家被害106254棟、道路被害6064箇所、河川被害229箇所であった。主な被害は震央から半径約20km以内に集中している。JR在来線が下部地盤の流出による路盤の沈下・変形によって運行不能になったり、新幹線の橋脚にせん断による破壊が生じたりもした。40年の歴史上初めて新幹線が地震により脱線した。また、震源域である魚沼丘陵・東山丘陵は日本有数の地すべり地帯であり、崩壊した土砂による河道閉塞(天然ダム)も多数発生した。

1996年以降の国内の大雨による災害について、岩手県立大学牛山素行助教授によるウェブサイト「豪雨災害と防災情報を研究するdisaster-i.net (<http://www.disaster-i.net/>)」の「災害事例の調査・研究情報」のページより表1にまとめた。Web

表1 1996年以降の国内における大雨による災害

(岩手県立大学総合政策学部牛山素行氏による<http://www.disaster-i.net/>より作表)

年月日	災害	年月日	災害	年月日	災害
2004.10	台風23号豪雨	2002.7	梅雨前線・台風6号	1999.6	広島・福岡梅雨前線豪雨
9	台風21号豪雨	2001.9	高知県西南豪雨	1998.8	福島県・栃木県豪雨
8	香川・愛媛豪雨	8	台風11号豪雨	1997.7	鹿児島県出水市針原川 土石流
7.18	福井豪雨	6	梅雨前線豪雨	1996.12	長野県小谷村土石流
7	新潟・福島豪雨	2000.9	東海豪雨	6	長野県小谷村豪雨
6	静岡市付近豪雨	8	谷川岳鉄砲水		
2003.8	北海道豪雨	7	青森市周辺豪雨		
7	九州豪雨	6	南九州豪雨		

には災害概要や降雨状況、現地調査写真及び刊行物などが掲載されている。また、気象庁 (<http://www.jma.go.jp/>) では、「災害をもたらした台風・大雨・地震・火山等自然現象のとりまとめ資料」のなかで、昭和20年以降の災害をもたらした大雨、台風などの関係資料が公表されている。

2004年6月27日には竜巻による災害が発生した。この日の早朝、九州北部に停滞した梅雨前線の活動が活発化し、佐賀県内を発達した積乱雲が東北東に進み、7時20分頃には佐賀市付近、7時50分頃には鳥栖市付近に達した。この積乱雲に伴い、佐賀市から千代田町、神埼町、三田川町、鳥栖市西部にかけて突風による被害が発生した。詳細な現地調査の結果、佐賀市と鳥栖市西部で発生した突風は竜巻と判断された（山本他，2004，気象庁<http://www.jma.go.jp/>）。山本他（2004）によると、佐賀市の竜巻による被害地域は長さ約7.5km、幅は最大で約300m、家屋の被害は344戸に及んだ。

近年の火山災害として、2000年三宅島火山災害が挙げられる。2000年6月26日18時30分頃より、三宅島の中心に位置する雄山の下部で火山性地震が群発し始めた。その日のうちに火山性地震の発生域は三宅島島外西方に向かって移動し、翌日27日に三宅島西方沖約1.2kmの海域における"山腹割れ目噴火"が発生し、2000年三宅島噴火は終了したと思われた。しかし、7月4日から三宅島島内下部における地震活動が再び始まり、7月8日18時41分頃、山頂部で崩落が生じた。崩落により噴煙が上がったので噴火とよばれている。その後も断続的な山頂噴火と崩落が続き、8月には10，18，29日に噴煙の高さが8，14，15kmに達する大規模な噴火が起きた。8月29日の噴火では、低温の火砕流が島北部の海岸まで流下した。噴火は9月まで続き、その後は山頂火口からの多量の火山ガス放出活動に移行した。同年9月はじめからの全島避難は、2005年2月の避難指示解除まで4年半にもおよんだ。火山ガスの放出は長期的には減少しているものの、現在も多量の放出が継続中であり、火山ガスと共存しながらの生活である。

3. 自然災害の発生メカニズム

先に述べたように自然災害は気象災害と地震・火山災害に大別できる。それぞれに多くの種類があり、複合の災害も多い。水谷（2005）によると、気象災害の主要なものは大雨と強風を誘因として水・大気・土砂が運動することによって生ずる風水害である。冬季には雪害も発生する。地震は地盤の強震動・変形や土砂・水の運動を引き起こして、また火災などの二次的現象を発生させて多様な被害を与える。土砂災害は、大雨及び地震の両方が誘因となって発生する。火山噴火によって生ずる現象の大部分は噴出物質の移動である。ここではこれらの災害の発生メカニズムについてまとめる。

3.1 大雨による洪水・土砂災害

大雨と豪雨は両者とも強い雨を表しており、明確な区別はない。実際の用例を見ると、大雨は多量の雨が降っていることを示し、豪雨は災害をも含んだ空間的・時間的なまとまりをもった現象に使用されている。その豪雨の地域的・時間的な集中性が顕著な場合が集中豪雨である（小倉，2000）。

九州はしばしば梅雨期に集中豪雨に襲われる。図1に典型的な天気図を示す。梅雨前線に向かって南西の湿った風が吹き込み（図中の灰色の矢

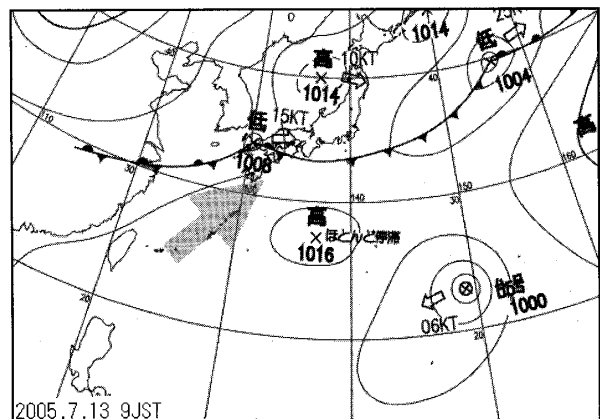


図1 2005年7月13日9時の地上天気図。灰色の矢印は湿った空気の流入を示す。この日は梅雨前線が九州北部に停滞し、活動も活発であった。昼過ぎまで九州北部、昼過ぎ～夕方は九州南部で、時間30～50ミリ前後の激しい雨となった。

印)、梅雨前線に沿って大きな雲の塊(雲のクラスター)が通過する際に豪雨が発生する。激しい雨は、強い上昇気流によって背が高く発達した積乱雲によってもたらされる。個々の積乱雲は、強い上昇気流による成長期(あるいは発達期)激しい降水と一部下降気流が出現する成熟期(最盛期)上昇気流が消滅、降雨は弱まり雲が消散しはじめる減衰期(消滅期)の三段階を経て一生を終えるが、その寿命はふつう30~60分である。しかし、風の鉛直シヤーが大きい場合、降雨とともに生じた下降気流が側面へ吹き出し、周囲から流入する気流とぶつかることで、そこに新たな上昇気流が発生し、次の積乱雲が発生するという積乱雲の世代交代(自己増殖ともいう)の現象が起こる。この増殖は風上に向かって進むが、一般風によって下流に流される積乱雲の移動速度と一致すると、ある特定の場所で激しい降雨が続くことになり集中豪雨となる。

現在は、アメダス、気象レーダー及び気象衛星の利用によって、リアルタイムでの大雨の現況把握と直前予報ができるようになってきている。またこれらのデータや地形の情報などを組み合わせて、現在の雨雲の今後の発達・移動を予測し、数時間後までの雨量を数km四方以下の空間分解能で予報できるようになっている。大雨は災害の誘因であり、災害をもたらすのは洪水や斜面崩壊といった現象である。次に洪水と土砂災害について述べる。

大雨の水が河に集まってきて水かさが増し、人工の堤防や自然の河岸を越え(越流)、あるいはそれを決壊させて(破堤)、河川水が河道外にあふれ出る(氾濫)という洪水が、日本で最も頻繁に起こる洪水災害である。破堤が生じやすい場所として、河の屈曲部、合流点付近、河幅が狭くなっているところ、水門の設置箇所、橋・堰の上流などが挙げられる。氾濫流は、基本的には平野地形の最大傾斜の方向に流れて、より低い場所に集まる。しかし平野内にある微高地、小河川、堤防・道路のような線状の構造物によって洪水の流動に影響を与えるため、注意が必要である。また、その場所に降った雨水や、周りから流れ込んできた水がはげきらずに溜まるという洪水を内水

氾濫とよぶ。都市水害といわれているものは都市域における内水氾濫で、地下街の浸水など新たな種類の被害をつくりだしている。

九州では、山地内や山麓の谷底低地(盆地や扇状地など)において、破壊力の大きい激しい山地河川洪水が発生する。このような地形のところでは、地表面勾配が大きく、また側面が山地で拘束されていて流れが広がることができないので、上流域に豪雨が降ると雨水が一気に谷底や山麓に流れ出してきて、水深や流速の大きい激しい洪水を引き起こす。上流山地内で山崩れや土石流が発生すると、それによって生産された土砂・流木などが洪水に加わることで、その破壊力は一層増すことになる。谷底低地面の勾配が大きいほど、低地面の幅が狭いほど、また上流域が広いほど危険度は大きい。

ここで斜面崩壊と土石流について簡単にまとめる。一般に土砂崩れといわれている山崩れや崖崩れは斜面崩壊に相当する。斜面崩壊とは、地層内のある面において、重力の作用による斜面傾斜方向の力が粘着力や摩擦による抗力を上回ると、この面で地層が断ち切られて、上にある土塊が一体となって滑り落ちる現象である。主要な発生原因は大雨と地震動である。崩壊を起こしやすい地質には、風化を受けやすい花崗岩、変質し粘土になりやすい火山岩・変成岩、シラスともよばれる火砕流堆積層などが挙げられる。大雨による斜面崩壊の発生危険性は、降った雨が土壌中の水分として貯まっている量(土壌水分量)が多いほど高いことが知られている。現在では土壌雨量指数に地域差などを考慮するための履歴順位という概念を導入して土砂災害の危険度を評価し、警報が出されている(岡田他, 2001)。ここで注意しなくてはならないのは、警報が出される領域は、土壌雨量指数の算出で用いる解析雨量の空間分解能が限界であるため、個々の崖の危険性を示すものではないという点である。大雨によって発生した斜面崩壊の土塊が、砕けながら谷間に滑り落ち、増水した谷の水と混じりあって谷底を高速で流れ下るというのが、最もよく起こるタイプの土石流である。

3.2 台風・高潮

赤道よりも北で、東経100～180度の間の北西太平洋域に存在する熱帯低気圧のうち、最大風速が17.2m/s以上になったものを台風とよぶ。一般に台風は海面水温が26～27℃以上の海域で発生するといわれている。台風の運動エネルギーの源は、雲の中で水蒸気が凝結する際に放出される水蒸気の潜熱である。低緯度域では貿易風と地球の自転の影響で台風は西に流されながら北上し、偏西風が吹いている中・高緯度域では北東に移動する。海面水温が低い海域に達したり上陸したりすることによって水蒸気の供給が減少したり絶たれることにより熱帯低気圧や温帯低気圧に変わる。

台風の勢力は「大きさ」と「強さ」のふたつの表現で示される。1991年以降、「大きさ」は風速15m/s以上の強風域の半径で、「強さ」は最大風速で区分されている。台風情報ではこのふたつを組み合わせて台風の勢力が表現されている。台風は直径が100kmスケールの巨大な大気の渦になっており、地上付近では上から見て反時計回りに強い風が吹き込んでいる。そのため、台風の進行方向に向かって右の半円では、台風の風と台風を移動させる周りの風が同じ方向に吹くため風が強くなる。台風の中心付近では、垂直に発達した積乱雲が眼の周りを壁のように取り巻いており、そこでは猛烈な暴風雨となっている。この眼の壁のすぐ外には積乱雲群があり、激しい雨が連続的に降っている。さらに外側には帯状の降雨帯があり、連続的に激しいわか雨が降ったりする。

台風は、大雨と強風によって洪水や土砂災害、建物などの損壊といった被害をもたらすほかに、高潮の発生原因となる。強風による海岸への海水の吹き寄せと中心部での低い気圧による海水の吸い上げによって海面を高くする。満潮時には潮位は一層高くなり災害の危険が増すことになる。台風は南方から日本に来襲するので、大きな高潮が発生する可能性が高いのは、南に向かって開く水深の小さい奥深い湾である。このような湾の西側を台風が湾に平行に進むと、その湾奥で大きな高潮が発生する。現在、台風の発生や移動の経過は完全に捉えられており、高い確率で予報もされている。台風被害を防ぐためには、洪水や土砂災

害、高潮などの予測も必要となる。

3.3 雪害

雪害は大雪によってもたらされる。顕著な雪害は北陸を中心とする主に日本海側の豪雪地帯とよばれる地方で発生する。雪害は雪の重みによる家屋の倒壊や大規模な雪崩が主である。融雪が河川の流量を増加させて融雪洪水を引き起こしたり、融雪水が地下に浸透して地すべりの滑動を再開させたりすることもある。一方、太平洋岸域に大雪が降る場合には、降雪深さのオーダーが10cm程度であっても交通障害や電力障害などをもたらす。

豪雪地帯における大雪には「山雪型」と「里雪型」がある。山雪型は冬型の気圧配置が強まり、日本海北西部や北日本の上空に強い寒気がある場合、強い北西の季節風が脊梁山脈を上昇することなどにより雪雲が発達するため、山の風上側で大雪となる。里雪型は、冬型の気圧配置が緩み、本州付近で等圧線が東西方向に伸びる形となっており、上空に寒気がある場合、海岸・平野部で大気の状態が不安定となり積乱雲が発達して、雷を伴い雪が激しく降る。一方、太平洋岸域に大雪をもたらす気象条件は、冬型の気圧配置が緩み、上空に寒気が残っているときに、日本の南岸を低気圧が発達しながら東進する場合である。一般に南岸低気圧による雪は、冬型気圧配置による雪に比べて湿った重い雪となる特徴があり、電線などへの着雪が起りやすい。いずれの場合も気象衛星や気象レーダー観測により大雪をもたらす気象状況はよく捉えられる。

3.4 地震・津波災害と火山災害

3.4.1 地震・火山災害

地震の震源と火山のほとんどは、ともにプレートの境界に帯状あるいは線状に分布している。したがって、災害の発生箇所はある程度限定される。しかし地震・火山災害発生の時間的な予測精度は気象災害に比べて低い。地震の場合、巨大地震を対象とした長期予測は行われているが、未解明の部分も多いため直前予知についてもまだ研究段階である。一方、火山噴火は前兆現象が明確であり予知技術はある程度実用段階まで開発されて

おり、予報や警報を出すことが可能である。しかし活動経過や終息の予測は難しい。

地震は地殻内における断層によって起こる。断層とは岩盤や地層がある面を境にしてずれる現象である。地殻中に長時間かけて歪が蓄積し、岩盤が耐えきれぬ限界を超えると断層という形で破壊が生じる。蓄積されていた歪エネルギーが解放されて地震波となり、四方に伝わっていく。これが地震である。地殻中に大規模に歪を発生させる主因はプレートの運動である。プレートの沈み込みによるプレート境界型の巨大地震は、海溝の陸側において発生する。マグニチュードの大きな地震や震源の浅い地震では、断層面が地表面に達して地表面にずれを起こす。このような地形を主な手がかりとして活断層の存在が確認される。活断層とは、第四紀の地質時代に繰り返し活動し、今後も活動すると推定される断層である。活断層の活動は内陸地震あるいは直下型地震を引き起こす。

日本列島は環太平洋火山帯に位置しており、108の活火山が分布している。気象庁・火山噴火予知連絡会は、過去100年間に収集された詳細な観測データに基づく100年活動指数、及び過去1万年間の地層に残るような規模の大きい噴火履歴に基づく1万年活動指数を定義し、ランクA (100年活動指数あるいは1万年活動指数が特に高い火山)、B (100年活動指数あるいは1万年活動指数が高い火山)、C (いずれの活動指数とも低い火山) の3つのランクに分類している。九州から沖縄にかけて、ランクAの火山を5つ (阿蘇山・雲仙岳・桜島・薩摩硫黄島・諏訪之瀬島)、ランクBの火山を5つ (九重山・霧島山・口永良部島・中之島・硫黄島) 有している。

噴火とは、火口から高温のマグマ物質や火山ガスなどの噴出物を放出する現象で、その様式はマグマの組成やマグマが上昇・噴出する場の水環境の違いによって様々である。マグマは深さ100km付近においてマントル上部の物質が部分的に溶けて形成される。これが浮力によって地下1~10kmほどの深さのところまでマグマ溜りをつくる。ここからマグマが地表近くまで上昇してくると冷却及び圧力低下によって結晶化が進む。残りの液相部分ではガス成分が多くなり、マグマ上部のガス圧

が増大する。粘性が大きいマグマの場合、ガスは容易に放出されず圧力がますます増大し、ついには火山灰・軽石・火山礫・火山弾などの火砕物とガスの混合物は火口から激しく噴出する。噴火の予知は、このマグマの集積・移動に伴って生ずる異常現象 (噴火前兆現象) を捉えることによって行われる。噴火前兆現象には、地震、火山性微動、地形変化、電磁気現象、熱異常、火山ガス・噴煙の変化などがある。気象庁ではこれらを観測し、適宜火山情報を発表している。また、予期される噴火が生じた場合に、降灰・噴石、火砕流、泥流、溶岩流などが及ぶ範囲を推定して図示すると共に、避難に関する情報なども加えたハザードマップが作成されている。ハザードマップにおける火山ガスについての記述は、活動が静穏な火山から放出される低温型ガスに多く含まれる硫化水素に対するものがほとんどであり、活発な火山から放出される高温型火山ガスに多く含まれる二酸化硫黄に対する記載はほとんどない。第4節では、現在も高温型火山ガスを大量に放出しつづけている三宅島の高濃度火山ガスハザードマッピングの研究を紹介する。

3.4.2 津波災害

日本は周囲を海に囲まれ、海岸線が長く複雑であるため、地震による津波の被害も発生しやすい。地震による津波は、海底下を震源とする強い地震が起こり、海底面が急激に持ち上げられたり陥没したりすることにより、この地形変化が海面の変化に反映して海水が激しく流動し、四方へ広がる波として発生する。地震以外に、海底火山の噴火や海底地すべり、山体崩壊などによる崩壊土砂の海中への突入によっても津波が発生する。

大きな津波を引き起こすのは、マグニチュードが8クラスのプレート境界型地震である。マグニチュードが大きくて震源が浅い場合、断層による海底の地形変化が大きくなって、高い津波が発生する可能性が大きい。しかし、断層が横ずれだけの場合は、海底面の上下変動がないため、マグニチュードが大きくても津波は発生しない。一方、海岸線が入り組んだ海岸では地形効果によって津波の危険が大きくなることにも注意が必要であ

る。気象庁は、地震発生後、津波の発生が予想される場合に、地震が発生してから約3分を目標に津波警報（大津波、津波）または津波注意報（津波注意）を発表している。

4. 災害予測の一例

一三宅島高濃度火山ガスハザードマッピング

三宅島は、東京から南へ約180kmに位置する直径8kmのほぼ円形の主に玄武岩からなる成層火山である。2000年6月に始まった噴火活動によって山頂噴火が発生するとともにカルデラを形成した。頂上部に直径約3.5kmの外側カルデラがあり、その内側に2000年噴火により生じた直径1.6kmのカルデラがある。現在の標高は775.1mである。2000年8月の大噴火後、現在も多量の火山ガスを放出し続けている。2000年9月から全島避難が続いていたが、2005年2月に避難指示が解除され、島民の帰島がはじまった。今後は火山ガスと共存して生活再建し、主要産業である観光や農漁業を行っていかなくてはならない。火山ガスの挙動は気象条件、特に山頂高度付近の風に支配的な影響を受ける。したがって、高濃度火山ガスのハザードマップは、高濃度火山ガスの危険度を高濃度発生頻度から面的に示す情報と大気の運動を予測するための気象情報の両方が必要となる。

4.1 地球観測衛星データを用いたハザードマップ

植物が火山ガスの影響を反映することを利用して、地球観測衛星データを用いて三宅島島内の植物の分布を調べることによって、高濃度火山ガスの危険度を面的に評価する方法を開発した（飯野他、2004）。2000年の噴火以前、1994年4月3日にJERS-1衛星によって観測されたデータから求めた植生指数画像(a)と噴火後の2003年4月7日のASTERデータによる植生指数画像(b)を図2に示す。植生指数（NDVI）とは、植物が可視域（特に赤色）の波長帯をよく吸収し、近赤外域の波長帯を反射する性質を利用して、近赤外バンドと可視バンドの差を計算し、規格化することによって植物の分布やその活性度を調査するための指標である。植生指数画像では、NDVI値が大き

いほど白く表され、植物の量や活性度が高いことを示す。植物がほとんどない領域や水面は黒く表示される。

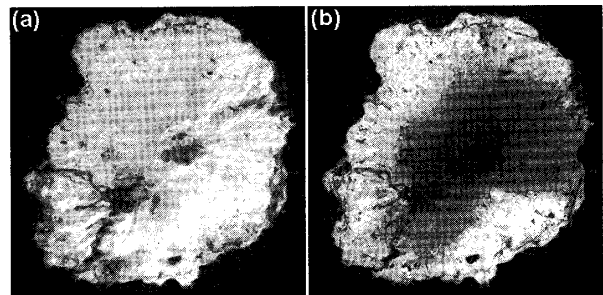


図2 植生指数画像

(a)1994年4月3日のJERS-1/OPS

(b)2003年4月7日のTerra/ASTER

三宅島2000年噴火以前のJERS-1のNDVI画像（図2 a）から、溶岩や道路、水域などを除いて島全体が広く植物に覆われていたことがわかる。一方、噴火後のASTERのNDVI画像（図2 b）では、島の東部や南西部は黒っぽく表示されており、火山ガスが植物に大きな影響を与えていることがわかる。2005年5月の現地調査によって、島の東部と南東部の植生のダメージは大きく、一帯全てが立ち枯れた木々という状況を確認した。現地調査で撮影した写真や動画を三宅島高濃度火山ガスに関する研究のホームページ（<http://ese.mech.kagoshima-u.ac.jp/miyake/>）に公開している。

2000年噴火前後でのNDVIの低下量が火山ガスの危険度に関係すると考えて、図2の植生指数画像の差を計算し、差のレベルによって色分けをした高濃度火山ガスハザードマップを図3示す。NDVIの低下が大きい領域ほど火山ガスの影響が大きく、高濃度火山ガスの危険度が大きいことを示している。ハザードマップ作成手順の詳細は、芝（2004）に示している。作成したハザードマップのカラーの原画は、上述した三宅島高濃度火山ガスに関する研究のページに掲載している。三宅村によって作成された三宅島防災のしおり（<http://www.miyakemura.com/entry/siori.pdf>）に示される三宅島防災マップの火山ガス危険領域の区分は、本ハザードマップが基礎となっている。本マップで山麓の海岸付近まで非常に危険と分類さ

れた島の東部や南西部は高濃度地区と指定されており、居住は許可されておらず、必要最低限の通過のみが許可されている。

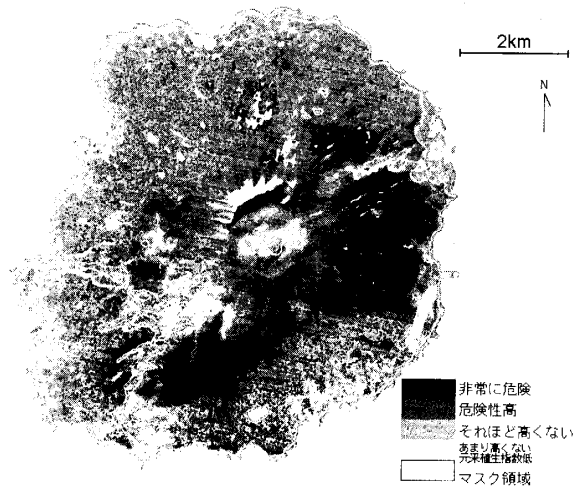


図3 1994/4/3と2003/4/7の植生指数差画像

4.2 高濃度発生 の 気象条件

山頂火口から放出された火山ガスの挙動は、火口付近の風に支配される。三宅島における高層風の直接観測は行われていないので、三宅島に最も近い高層観測点である八丈島（三宅島の南南東約110km）の925hPa（海拔約830m）の高層風で代用する。2002年について各月の風速と風向の傾向を調べた（Iino et al., 2004）。一年を通して比較的強い風が吹くことが多いことがわかった。これは海上孤島という地理的条件によると考えられる。風向で特徴的なのは、一年を通して北西と南東の風が吹くことはほとんどないことである。季節的な特徴として、夏季は太平洋高気圧による南西風が支配的であり、冬季は西高東低の冬型の気圧配置が安定しやすいため、ほとんど西よりの風が吹いている。春と秋には、高気圧と低気圧が交互にやってくるため風向のばらつきが大きい。春は南西の風が多い。秋には東よりの風と西よりの風が同じ程度で吹いている。なお、2001年と2003年のデータについても同様の傾向が認められた（権現領, 2005）。

東京都環境局による山麓の固定観測点での火山ガス連続測定は、2000年12月の3局体制から始まり、2001年9月には6局、2002年3月には10局、2004年4月からは14局に増強された。代表例とし

て、火口の東南東に位置する空港局における高濃度二酸化硫黄濃度発生頻度の経月変化を図4に示す。グラフの実線と破線はそれぞれ0.1ppmと1ppm以上の濃度の発生頻度を表す。二酸化硫黄（SO₂）の環境基準は1時間値が0.1ppmであるが、三宅島では非常に高濃度となる場合が多いので、環境基準の10倍の1ppmも解析基準とした。季節風の影響によって冬季に高濃度の発生頻度が高くなっていることがわかる。その他の局のグラフは権現領（2005）に示している。高濃度発生の季節・地域特性は風の特徴から理解できる。また、図3に示したハザードマップの地域特性とも対応する。以下に高濃度発生の季節・地域特性を要約する。

- (1) 火口の東～東南東の局では冬季に高濃度の発生頻度が非常に高い。東北東の局では加えて夏季にも高濃度となっており、一年を通して高濃度が発生しやすい。
- (2) 火口の南西部の局では、一年を通して高濃度が発生しやすい。
- (3) 火口の南東～南と西～北の局では、高濃度の発生頻度は高くない。

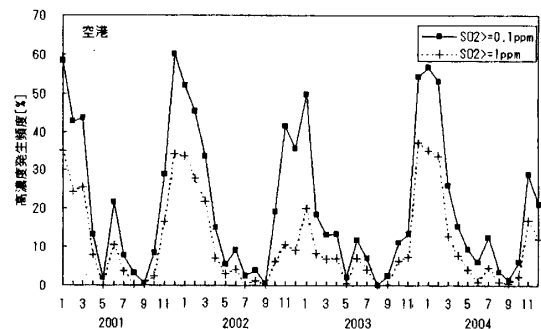


図4 空港局における2001～2004年の高濃度SO₂発生頻度の経月変化

高濃度SO₂と火山ガスの吹き降ろしとの関係を詳しく調べるために、フルード数（Fr）を計算した（飯野他, 2003）。フルード数は、大気鉛直運動に大きな影響を及ぼす大気の安定度や山頂高度付近の風速、山頂高度などを用いて求められる指標である。フルード数が1のとき、ちょうど山肌に沿って火山ガスが吹き降ろす（内田他, 2003）。フルード数が1を超えると山麓に火山ガ

スが吹き降ろされ、高濃度SO₂が発生すると予測される。

高濃度地区の代表として、島の東部に位置する空港局(a)と南西部に位置する薄木局(b)におけるSO₂濃度と高層風の風向とフルード数の散布図を図5に示す。風向は北を0度とした時計回りに360度表記されている。縦軸のFr数は対数表示である。点線は各局からの火口の方角を示す。解析期間は、10局において安定的にSO₂濃度データが得られるようになった2002年5月からの1年間である。なお、全局の散布図は権現領(2005)に示している。空港局では、SO₂≥1 ppmが観測されているときFr≥1である割合は90%以上である。同様に東部に位置する三池局及び村役場局において、SO₂≥1 ppmが観測されているときFr≥1である割合も80%以上と高い。これらの局における高濃度SO₂の主因は火山ガスの吹き降ろしであると考えられ、フルード数と風向より高濃度ガス発生がほぼ可能である。一方、南西部の薄木局では、Fr<1でも40%程度の割合で1 ppm以上の高濃度SO₂が発生している。また高層風の風向

からは高濃度が説明できない事象がみられた。飯野他(2005)では、フルード数の代わりに風速データを用いて同様の検討を行い、同様の結果を得た。薄木局と同様な特徴が見られた南西部に位置する阿古局において、高層風からは高濃度SO₂の発生が説明できない場合の地上天気図を確認し、三宅島の北を高気圧の中心が東進する気圧配置の場合に高濃度がもたらされることを明らかにした。なお、飯野他(2005)では、山腹での高濃度SO₂と風との関係や、空間分解能の高い火山ガス測定データを用いた解析、気象状況との詳しい照合を行うことによって、高濃度事象の地域特性について詳細に議論している。

本稿では紙面の都合から全局についての詳細な議論は行わないが、島の南西部に位置する薄木局と阿古局を除くその他の8局における高濃度事象の多くは、三宅島山頂高度付近の高層風の予報から予測ができる。高層風だけからの予測が難しい島の南西部における強風時以外の高濃度事象についても、天気図に示される気圧配置からある程度の予測は可能である。したがって、図3に示した面的な火山ガスハザードマップ及び毎日の天気予報に示される天気図から予想される大気運動から、住民の火山ガス災害のリスクは軽減できると考える。また、噴煙と火山ガスはほぼ挙動を共にすると考えられることから(小山田他, 2003)、屋外での活動中においては噴煙の動きが火山ガスの危険を予測するのに役立つ。なお、避難指示解除後の三宅島では、気象庁による風情報や東京都によるSO₂濃度情報に基づき、24時間体制で火山ガスの注意報・警報を出しており、島内43箇所に設置されている屋外拡声子局から放送されている。

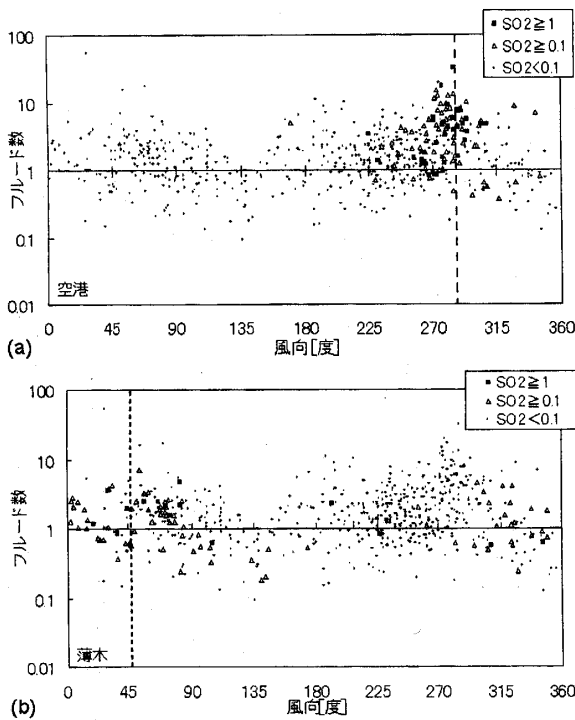


図5 2002年5月から2003年4月までの高層風観測時のSO₂濃度に対する八丈島925hPa高層風の風向とフルード数の散布図
(a) 空港局 (b) 薄木局

5. 防災教育

5.1 防災教育

1995年の阪神淡路大震災後、防災教育は国や学校などによって熱心に取り組まれている。日本理科教育学会は1996年発行の「理科の教育」45巻において「理科における自然災害の扱い」を特集している。また2004年10月には、日本地学教育学会が「自然災害・防災教育に果たす地学教育の役割とパートナーシップの構築」のテーマでシンポジ

ウムを開催している。

京都大学防災研究所の林春男教授を委員長とし、国や学校、民間団体からの委員からなる「防災教育チャレンジプラン実行委員会」は、次の世代を担う子ども達を中心とした家庭や地域の防災に関わる能力の向上を図ることにより社会全体の防災力を向上させることを使命として防災教育を多くの人々に紹介し、その実践を支援することを目的として活動を行っている。防災教育のための素材やイベントを行うためのヒント、効果的でアイデアに富んだ総合学習の取り組み方などを防災教育チャレンジプランのホームページ (<http://www.bosai-study.net/top.html>) で公開している。

防災教育の「動機付け」としては災害の疑似体験が有効であると考えられる。また、学んだ知識や技術をもとに、自ら考えて判断する能力が求められる。総務省消防庁の防災・危機管理e-カレッジ (<http://www.e-college.fdma.go.jp/top.html>) の「大地震を3日間生き延びる！」では大地震を取り上げ、起こりうる具体的な状況を時間を追って示し、「あなたならどうする？」という質問形式で展開する。質問に答えながら、災害イメージを具体化し、大地震に見舞われたとき、いかに身を守るか、3日間生き延びるためにどのような準備が必要かを考えられるコンテンツが用意されている。このサイトでは、子供向け、地方公務員向け、消防団員向けといった様々なレベル・見方のコンテンツや、災害の基礎やより深く学ぶためのコンテンツなど、防災に関係する情報が網羅されている。

一方、科学技術振興財団の理科ねっとわーく (<http://www.rikanet.jst.go.jp/>) では、科学技術・理科教育のためのデジタル教材を無償で提供している。実際に観ることが難しい地球内部の様子やプレートテクトニクスなどについてのデジタル教材は、地震・火山災害の発生メカニズムを理解するために有用であろう。

5.2 授業への提案

高等学校における地学の履修者が非常に少ない現状では、防災教育を考慮した理科教育は、小・中学校において一通り行われるべきであると考え

る。理科以外の総合的な学習の時間や特別活動なども防災教育の非常によい機会であろう。また中学校の選択教科の理科や高等学校の地学における防災教育では、映像やWeb教材などといった副教材を多く取り入れて多めに時間をかけたり、多少専門的な事項に立ち入った授業を行ったりすることにより、災害を引き起こす自然現象への理解がより深まるだろう。しかしここでは、国民全員が学習する小中学校の理科の授業に限定する。

小学校の理科の学習指導要領によると、第5学年と第6学年の目標のなかに「自然災害」という言葉が見られる。第5学年では、『目標(3)天気の変化や流水の様子を時間や水量、自然災害などに目を向けながら調べ、見いだした問題を計画的に追究する活動を通して、気象現象や流水の働きの規則性についての見方や考え方を養う』とある。目に見えるもの、体感できることを対象として、違いや変化を理解する段階である。内容の取扱いに、『台風の進路による天気の変化や台風と降雨との関係についても触れるものとする』と記述されているように、気象情報に基づく天気予報や、大雨やそれに伴う土砂災害などの気象災害について取扱うのに適した段階であると考えられる。第6学年になると、『目標(3)土地のつくりと変化の様子を自然災害などと関係付けながら調べ、見いだした問題を多面的に追究する活動を通して、土地のつくりと変化のきまりについての見方や考え方を養う』とある。気象現象に比べると観ることが容易ではない足元の下にある土地を対象として、そのつくりと変化を考えられる段階である。原因にまでは触れられないが、具体的な災害前後の様子を示せば、このように土地が変化したのは地震・火山災害に関係するということは理解できる段階であると考えられる。中学校になると、より高度な科学的概念が理解できると共に、それらの間の複雑な因果関係を理解できるようになる。地震や火山活動をプレートの運動やマグマの性質と関連付けて捉えられる段階であるため、平易な説明を行うことによって地震・火山災害の発生メカニズムを理解できる段階であると考えられる。

上述した理科教育学会誌や地学教育シンポジウムでの事例報告から、小中学校においては地域を

素材とした防災教育が行われていることがわかる。これまでは観察が難しいために教科書での学習になりがちであった地震や火山に関係する単元の学習に、身近な防災の視点を取り入れることによって児童生徒の興味や関心が高まることが期待できる。さらには科学の目を持って防災を考える国民の育成に理科教育が大きな役割を果たすことができる。

謝 辞

三宅島山麓の火山ガスデータをご提供いただきました東京都に心より感謝いたします。ASTERデータは(財)資源・環境観測解析センターとの共同研究でご提供いただきました。天気図は気象庁からご提供いただきました。ここに記して感謝の意をあらわします。三宅島高濃度火山ガスハザードマッピングは、鹿児島大学の木下紀正客員教授、矢野利明副学長との共同研究によるものです。

参考文献

- 飯野直子, 小山田恵, 木下紀正, 金柿主税: 三宅島噴煙の衛星画像と火山ガス高濃度事象, 南太平洋海域調査研究報告, No. 37, pp. 66-75, 2003.
- Iino, N., K. Kinoshita, T. Yano and S. Torii: Dispersion of volcanic clouds at Miyakejima and gas concentrations at surface stations, CD-ROM Proc. Int. Symp. Micro & Nano Technology, Honolulu, USA, XXIII-C-01 pp. 1-6, 2004.
- 飯野直子・芝貴章・矢野利明・木下紀正: 植生指数画像による三宅島島内火山ガスハザードマップの試作, 日本リモートセンシング学会第36回学術講演会論文集, pp. 33-34, 2004.
- 飯野直子・木下紀正・矢野利明: 三宅島における高濃度火山ガス事象の地域特性, 自然災害科学 23, pp. 505-520, 2005.
- 石垣島地方気象台: 「北海道南西沖地震について」
<http://www.okinawa-jma.go.jp/ishigaki/school/200403/nanseioki.htm>
- 内田孝紀・大屋裕二: パッシブ粒子追跡法による三宅島火山ガス挙動の可視化, 可視化情報学会論文集 23, pp. 58-65, 2003.
- 岡田憲治・牧原康隆・新保明彦・永田和彦・国次雅司・斉藤清: 土壌雨量指数, 天気48, pp. 349-356, 2001.
- 小倉義光: 一般気象学〔第2版〕, 東京大学出版会, 308p., 2000.
- 小山田恵・木下紀正・寺田暁彦・飯野直子・金柿主税: 三宅島島内の火山ガス高濃度事象と八丈島高層風の特徴, 天気50, pp. 553-559, 2003.
- 権現領慎: 三宅島高濃度火山ガス事象の解析, 平成16年度鹿児島大学工学部卒業論文, 2005.
- 芝貴章: 衛星データによる三宅島島内の火山ガスハザードマップの作成, 平成15年度鹿児島大学工学部卒業論文, 2004.
- 飛田哲男・井合進・汪明武・仲山賢司: 平成16年(2004年)新潟県中越地震被害調査速報, 自然災害科学 23, pp. 595-602, 2005.
- 防災システム研究所: 「北海道南西沖地震」
<http://www.bo-sai.co.jp/sub8.html>
- 水谷武司: Web防災基礎講座 自然災害について学ぼう, 防災科学技術研究所, 2005.
<http://www.bosai.go.jp/library/bousai/manabou/index.htm>
- 安田誠宏・原田賢治: 2004年12月26日スマトラ沖地震津波災害, 自然災害科学 23, pp. 603-615, 2005.
- 山本晴彦・岩谷潔・岩本剛: 2004年6月27日に佐賀市で発生した竜巻災害, 自然災害科学 23, pp. 283-292, 2005.