

Science & Technology Trends

科学技術動向

1

2009
No.94



レポート

p2.9

省エネルギーに寄与する照明の効率化技術

p3.20

火山噴火予知研究の現状と今後の課題

トピックス

ライフサイエンス分野

p4

シーケンサーの進歩による
ゲノム研究の進展

情報通信分野

p6

情報専門分野の教育認定に関する
新たな国際相互認証制度

ナノテク・材料分野

p8

テラヘルツ波により
ナノスケールでキャリア濃度を画像化

ライフサイエンス分野

p5

脳活動信号からヒトの視知覚の
読み取り・再構成に成功

環境分野

p7

大気中の主要温室効果ガス濃度が
過去最高値を更新

● 科学技術動向

今月も「科学技術動向」をお届けします。

科学技術動向研究センターは、約 2000 名の産官学から成る科学技術人材のネットワークを持ち、科学技術政策において重要な情報あるいは意見の収集を行い、また科学技術予測に関する活動も続けております。

月刊「科学技術動向」は、科学技術動向研究センターの情報発信手段の一つとして、2001 年 4 月以来、毎月、編集・発行を行っています。意識レベルの高い科学技術関係者の方々、すなわち、科学技術全般に関して広く興味を示し、また科学技術政策にも関心をお持ちの方々に読んでいただけるものを目指しております。「トピックス」では最近の科学技術および政策から注目される話題をとりあげ、また、「レポート」では各国の動向や今後の方向性などを加えてさらに詳しく論じています。これらは、科学技術動向研究センターの多くの分野のスタッフが学際的な討議を重ねた上で執筆しています。「レポート」については、季刊の英語版の形で海外への情報発信も行っています。

今後とも、科学技術動向研究センターの活動に有効なご意見を読者の皆様からお寄せいただけることを期待しております。

文部科学省科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター センター長
奥和田 久美

このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします。

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記の URL にアクセスいただき「科学技術動向・月報一覧」でご覧いただけます。

文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

【連絡先】〒100-0013

東京都千代田区霞が関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館東館 16 F

【電話】03-3581-0605 【FAX】03-3503-3996

【URL】<http://www.nistep.go.jp>

【E-mail】stfc@nistep.go.jp

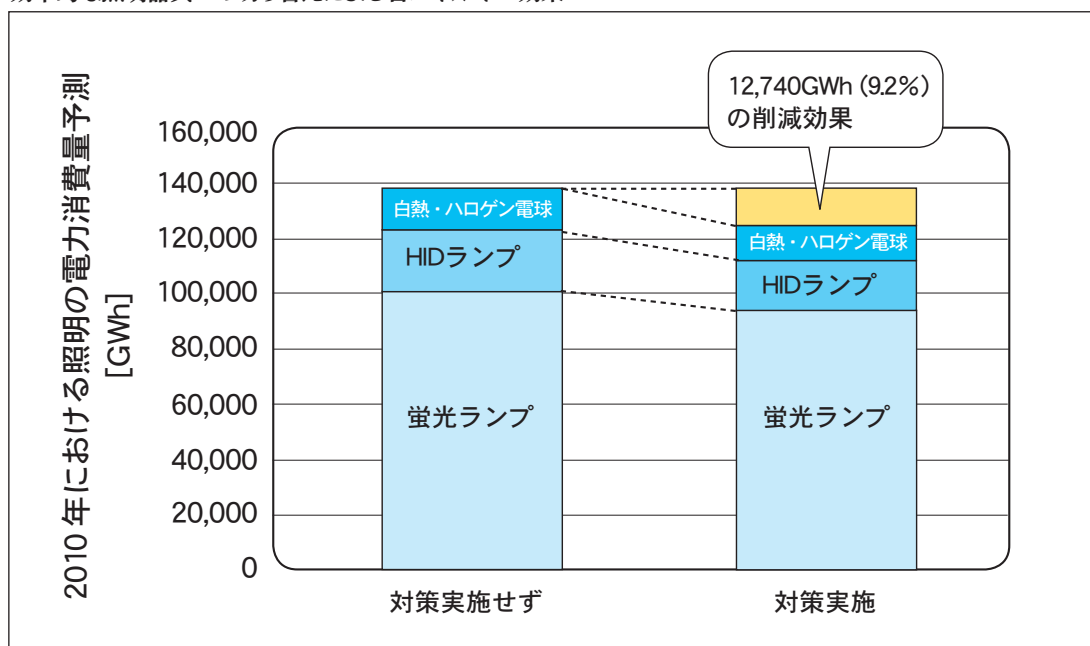
省エネルギーに寄与する照明の効率化技術

我が国は京都議定書の締結により、温室効果ガス排出量の削減の義務を負いながら、実際の排出量は逆に基準年に比べて増加している。特に化石エネルギー使用量の削減については、さらなる対策を講じることが求められている。そうした中で、照明は国内総発電量の十数パーセントを消費しており、省エネルギーを図る必要がある分野である。

照明の高効率化には、2つの対策がある。1つは、より少ない電力で同様の明るさを得る照明器具の効率化である。蛍光灯などランプ本体や点灯回路の改良により効率化が進められてきたが、さらに大幅な省エネルギーが期待できる照明用発光ダイオード（LED）や有機 EL など新たな光源の開発が進められている。もう1つは、使用する照明器具の種類に関係なく、省エネルギー化を図るための照明方法の効率化である。必要な明るさを必要な範囲で使用するという照明の使用方法が開発されつつある。

効率化の推進には、素子や器具の技術改良はもちろんのこと、法の整備や技術者の育成が必要である。また、照明の効率化は一般家庭でも取り組める省エネルギー活動であり、国民の意識を高めるためには、照明の占める消費電力量などのデータを継続的に調査し、実情を国民に広く知らしめる必要がある。省エネルギーは、これだけやれば終わりというものではなく、絶えずムダゼロを目指し努力を継続しなければならない。

効率的な照明器具への切り替えによる省エネルギー効果



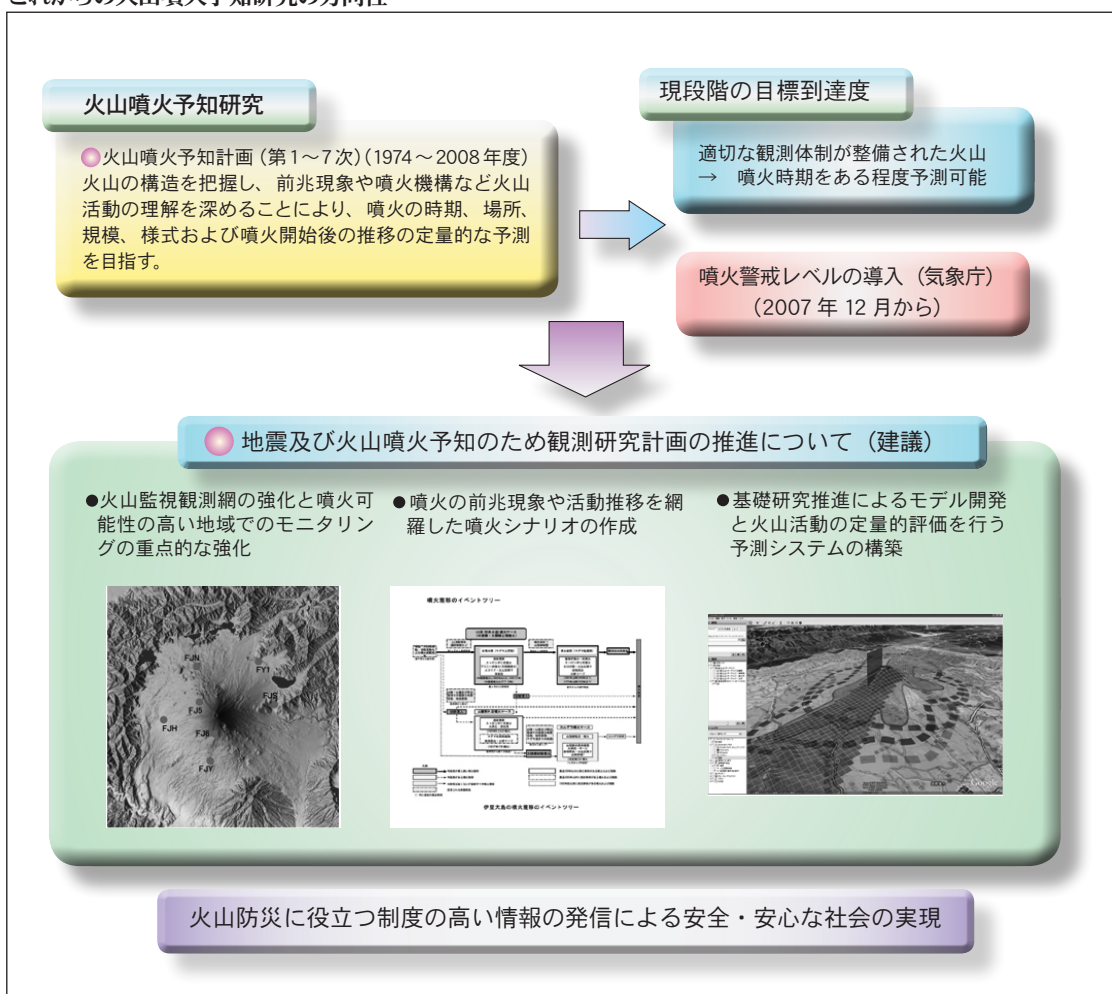
科学技術動向研究センターにて作成

火山噴火予知研究の現状と今後の課題

日本には 108 の活火山があり、火山噴火災害から人命・生活を守るための政策がとられてきた。測地学審議会のもとに 1974 年から進められてきた火山噴火予知計画は 2008 年度で終了し、2009 年度からは地震予知計画と一体化した「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」として新たに出発する。火山防災については、気象庁により 2007 年 12 月から「噴火警報および噴火警戒レベル」が情報提供されるようになり、火山の活動状況だけではなく、具体的な防災対策も明確化したものとなった。しかし、現実には、火山噴火予知研究は噴火メカニズムの解明について発展途上過程にあり、提供情報の精度が低いこと、観測体制が脆弱であり、レベルの維持も難しいことといった 2 つの問題点がある。

今後は、まず基礎研究の推進による噴火機構モデルおよび噴火シナリオの作成と観測網によって得られる高品位データを連結することで、火山活動の予測を可能にする「噴火予測システム」の構築を目指す必要がある。火山噴火予知研究は、基礎研究を推進するとともに、より高精度な火山防災に資する情報発信とその利用へ向かっている。

これからの火山噴火予知研究の方向性



科学技術動向研究センターにて作成

核酸の配列を解析するシーケンサーが長足の進歩を遂げている。現在すでに、従来の100倍以上まで解析能力が向上し、従来は4年以上かかっていたヒトゲノムの解析を15日から1ヶ月で完了できる。今後さらなる改良が見込まれている。ゲノム解析が短期間かつ低コストで行えるようになれば、個人のゲノムの変異や多型といったゲノム情報を明らかにすることにより、各個人に最も適切な医療を施す、いわゆる「個の医療」(テーラーメイド医療)の実現が近づく。個別の疾患の治療における期待も大きく、特に癌では同じ個人の正常細胞のゲノムとの比較により、どのような変異が癌の発生に関与するかという知見が得られる可能性がある。

トピックス / シーケンサーの進歩によるゲノム研究の進展

核酸の配列を解析するシーケンサーの能力が長足の進歩を遂げている。次世代シーケンサーと総称されるこれらの機器は、すでに従来の100倍以上の解析能力を持ち、従来法で4年以上かかっていたヒトゲノムの解析を、計算上は15日から1ヶ月で完了できる。いずれの機種もこれまでとは全く異なる原理に基づき、高度に自動化されている¹⁾。また今後さらなる改良が見込める。2010年に市販される予定の機種は、さらに4桁高い解析能力を有する。これらによってゲノム研究の方法論が大幅に変わる可能性がある。

ゲノム解析が短時間かつ低コストで行えるようになれば、個人のゲノムの変異や多型といったゲノム情報を明らかにすることが容易になり、各個人に最も適切な医療を施す、いわゆる「個の医療」(テーラーメイド医療)の実現に一步近づく。まずは多くの個人のゲノム情報の蓄積が必要となる。かつてヒトゲノム計画で完成されたのは複数のゲノムの混合された情報であったが、現在国際的な「1000人ゲノムプロジェクト」で個別遺伝情報の解析が進行中である。2008年4月および11月には、白人²⁾、西アフリカのヨルバ族³⁾、中国の漢民族⁴⁾のそれぞれ一個人の全ゲノム解析の結果が相次いで報告された。

一方、個別の疾患の治療における期待も大きい。特に癌では同じ個人の正常細胞のゲノムとの比較により、どのような変異が癌の発生に関与するかという知見が得られる可能性がある。最近報告さ

れた急性骨髄性白血病の例では、癌細胞と患者自身の皮膚正常細胞のゲノム配列を決定し比較している⁵⁾。その結果、癌細胞にだけ存在する変異のある遺伝子を10個同定した。そのうち2つは癌の増殖に関与することが知られている遺伝子であったが、残り8つは新規な変異であった。これらの変異は、この患者の発症時や再発時にほとんどの癌細胞に認められるため、癌化に何らかの関与をする可能性がある。今後これらの変異と癌化の関係についても明らかにされると考えられる。このような候補を見出す方法論として、直接ゲノムの塩基配列を比較するという客観的な手法は、大きな期待が寄せられる。現在8カ国の共同プロジェクト「国際がんゲノムコンソーシアム」において50種類の癌の解析が進行中である(日本からは(独)理化学研究所、国立がんセンター、(独)医薬基盤研究所が参加)。

このほかにもこれまでDNAチップ等を用いることが主流であった発現プロファイルの解析を、高速シーケンサーを用いて発現しているRNAの一部配列を網羅的に決定・同定し、その数を数えることにより発現量を計測するという手法¹⁾への応用が報告されている。さらにエピゲノムやメタゲノムといった研究分野においても極めて強力なツールとなる可能性がある。このようにシーケンサーの進歩は、単に効率や費用の改善にとどまらず、新たな研究領域の開拓につながる可能性がある。

参 考

- 1) Shendure J, & Ji H., Nature Biotechnol., 26(10), 1135-45, (2008)
- 2) Wheeler D.A, et al., Nature, 452(7189), 872-6, (2008)
- 3) Bentley D.R. et al., Nature, 456(7218), 53-9, (2008)
- 4) Wang J, et al., Nature, 456(7218), 60-5, (2008)
- 5) Ley T.J. et al., Nature, 456(7218), 66-72, (2008)

fMRI で捉えた脳の活動信号からヒトの視知覚内容を読み取り、画像再構成する実験が成功した。(株)国際電気通信基礎技術研究所等の研究者グループによるもので、複雑な視覚像に対応する脳内活動を要素に分解して解読、解読結果の要素を組み合わせることで画像として再構成する。実験方法とその結果は、視知覚の脳内活動に新知見を提供するものであり、脳科学と脳科学応用技術の両面で画期的な研究アプローチである。

トピックス 2 脳活動信号からヒトの視知覚の読み取り・再構成に成功

(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)・脳情報研究所、(独)情報通信研究機構、奈良先端科学技術大学院大学、自然科学研究機構・生理学研究所の研究者グループは、機能的磁気共鳴画像装置(fMRI)で捉えた脳の活動信号を基に、ヒトの視覚が捉えた外界の画像情報を再構成する実験に世界で初めて成功した^{1,2)}。

fMRIは脳内微小領域の血流量変化等を外部から非侵襲で計測して、脳の活動を3次元でfMRI信号(以下、脳活動信号)として捉える。同研究グループは脳活動信号を基にヒトの視知覚や運動意図を読み取る研究を進めている。これまでに、手書き文字認識などで用いられるパターン識別技術を用いてヒトの視知覚や運動意図と脳活動信号との対応関係を識別プログラムに学習させ、脳活動信号からの視知覚や運動意図の読み取りを実現してきた。しかし、視知覚対象や運動意図が複雑で識別すべきカテゴリ数が多くなる場合には、①識別プログラム形成に必要な学習時間が増大する、②未学習カテゴリは識別できない、という問題が存在し、ヒトが見るあらゆる視覚像を脳活動信号から解読することは不可能であった。

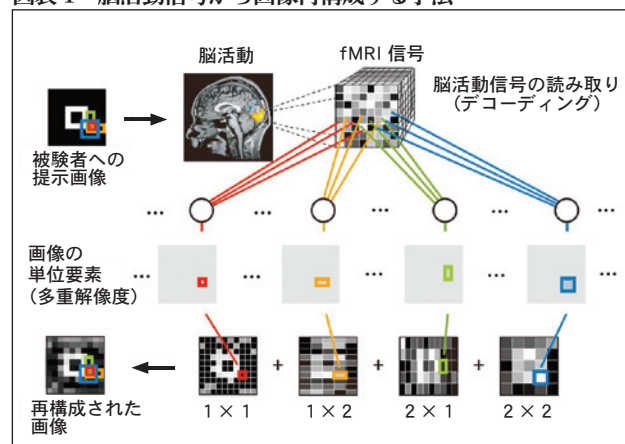
今回は①、②の問題を解決するために、複雑な視覚対象に対応する脳活動を要素に分解して解読し、解読結果の要素を組み合わせることで画像として再構成する手法を考案、実現した。脳活動信号から視覚対象を構成する画像要素(コントラスト値)を読み取る解読(デコーディング)手順と、解読結果の画像要素を種類に従って異なる重み付けで空間加算する手順の2段階で画像再構成する(図表1)。

実験は、視野角約1度を基本単位:ピクセルとして10×10ピクセルの2値画像を被験者へ提示して1次視覚野を中心にfMRIにより脳活動を計測した。440種類のランダム画像について脳活動信号と画

像との対応関係を予め識別プログラムに学習させる。画像要素は(1×1、1×2、2×1、2×2ピクセル)の4種を10×10領域内で相互に重ね合わせるいわゆる「多重解像度」による方法を画像再構成誤差最小とすることから採用した。多重解像度の組合せ係数はランダム画像440種で誤差最小となるように調整する。このように準備した識別プログラムに未学習の図形5種と英文字5種に対する脳活動信号を適用し、画像再構成に成功した(図表2)。

今回の成果は、視知覚の脳内活動発現メカニズムの研究に新たな知見を提供するものであり、脳科学と脳科学応用技術の両面で画期的な研究アプローチである。

図表1 脳活動信号から画像再構成する手法



プレス発表²⁾の図を許可を得て改変掲載

図表2 提示画像(上段)と画像再構成結果(下段)



提供: ATR 脳情報研究所

参 考

- 1) Y. Miyawaki, et al., "Visual Image Reconstruction from Human Brain Activity using a Combination of Multiscale Local Image Decoders," pp.915-929, Vol.60, Neuron, 2008 Dec.
- 2) (株)国際電気通信基礎技術研究所プレス発表: http://www.atr.co.jp/html/topics/press_081211_j.html

情報分野のカリキュラム内容は、近年、急速な技術進化と社会環境の変化に対応すべく絶えざる変革を求められている。情報に関連する専門分野の一部は、いわゆる「技術者教育 (Engineering Education)」の範疇では取り扱うことが困難であり、独立した認証の体系が必要であるという議論がなされてきた。2008年12月、韓国ソウル市において情報専門教育カリキュラムの国際相互認証が、「ソウル・アコード (Seoul Accord)」として、韓国、米国、カナダ、イギリス、オーストラリア、日本等によって採択された。今後、その他の国々も加盟するものと考えられている。2008年度より、新基準に基づく情報分野のカリキュラム審査試行が行われている。これによって、ソウルアコードに準じて策定された日本の基準の妥当性が評価されつつある。

トピックス 3 情報専門分野の教育認定に関する新たな国際相互認証制度

教育認定に関する国際相互認証制度とは、各国が自国の教育プログラムに対して実施する認証に関する基準と審査手順、およびその方法が、他国のそれと質的に同等であることを国際間で互いに認めあうための国際的なしくみである。一般的な「技術者教育 (Engineering Education)」に関する国際相互認証は、これまで、米国ワシントンで1989年に結ばれた「ワシントン・アコード (Washington Accord)」に則って実施されてきた。現在、先進各国では、自国の技術者教育 (Engineering Education) の内容を審査する認証機構が設置されている。日本では、1999年に複数の学協会を母体として発足した日本技術者教育認定機構 (JABEE: Japan Accreditation Board for Engineering Education) がこの役割を担ってきた。日本のJABEEは、2005年6月に非英語圏としては、初めてワシントン・アコードに加盟した。以来2006年度までに大学工学部や工業高等専門学校教育プログラムを対象に、工学関連17分野において340件あまり、2007年度には、新たに19件のプログラムを認証している。

しかし、情報分野のカリキュラム内容は、近年、急速な技術進化と社会環境の変化に対応すべく絶えざる変革を求められている。情報に関連する専門分野の一部は、いわゆる「技術者教育 (Engineering Education)」の範疇では取り扱うことが困難であり、独立した認証の体系が必要であるという議論がなされてきた。2008年12月、韓国ソウル市において情報専門教育カリキュラムの国際相互認証が、「ソウル・アコード (Seoul Accord)」として、韓国、米国、カナダ、イギリス、オーストラリア、日本等によって採択された。今後、その他の国々も加盟するものと考えられている。

現在、世界の情報分野の教育内容は、米国の

本拠地を置く世界的な情報工学分野の学会、ACM (Association for Computing Machinery) が定義する次の5つの分野を軸に設定されるのが一般的である。

CS (Computer Science) コンピュータ科学

CE (Computer Engineering) コンピュータ工学

SE (System Engineering) システム工学

IS (Information System) 情報システム

IT (Information Technology) 情報技術

このうち特に、CSは科学的な側面が、ISは経営学的な側面が強く、ワシントン・アコードが標榜する技術者教育の範疇に当てはまらないという意見があった。このような主張を主に展開してきた韓国の技術者教育認定機構が中心となり、今回特に「情報」を専門とする学部教育認定の国際相互承認協定が「ソウル・アコード」と呼ばれる協定として採択された。

日本では、このような国際的な流れと歩調を合わせながら、文部科学省大学評価研究委託事業「情報系分野別評価WG」の一環として、2008年度より、新基準に基づく情報分野のカリキュラム審査試行が行われている。これによって、ソウルアコードに準じて策定された日本の基準の妥当性が評価されつつある。JABEE基準の中で情報分野は「電気・電子・情報通信およびその関連分野」として扱われている。技術者教育の色彩が強いCE、SEの教育プログラムの認定審査は、これまでどおりワシントン・アコードでの相互承認を意図した現行の枠組みで扱われる。場合によっては、この分野の名称は「電気・電子・通信・コンピュータおよびその関連分野」のように改められる可能性がある。さらに、今回のソウルアコードで特に対象となっているCS、IS、ITの分野を中心とするそれ以外の情報専門教育プログラムの認定審査に関しては、新しい基準を確立させ、この枠組みの中で扱う予定である。

参 考

- 1) 「情報処理教育カリキュラムの動向と課題」、科学技術動向、No.39、2004年6月号
- 2) JABEE ホームページ：http://www.jabee.org/
- 3) Seoul Accord ホームページ：http://www.seoulaccord.org/

2008年11月25日、世界気象機関による温室効果ガス年報第4号が発表された。これによると、2007年は、代表的な温室効果ガスであるCO₂、メタン、N₂Oの世界平均濃度が過去最高となった。中でもメタン濃度は、最近の10年はほぼ横這いで推移していたが、2007年は再び高い増加量を示し、過去最高だった2003年を大きく上回った。一方、CO₂、N₂O濃度は単調増加傾向が変わらず、過去最高値となった。この年報は、世界気象機関全球大気監視のネットワークにより世界各地で観測される大気中濃度を毎年取り纏めて発表されるもので、第4号は気候変動枠組み条約第14回締約国会議、京都議定書第4回締約国会合で配布される予定である。

トピックス 4 大気中の主要温室効果ガス濃度が過去最高値を更新

2008年11月25日、世界気象機関(World Meteorological Organization: WMO)による温室効果ガス年報第4号が発表された。WMOは、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨などの地球環境問題に対応するため、1989年に全球大気監視計画を開始し、大気の化学組成や物理的特性に関する観測データなどの科学的情報を提供している。

この年報は、WMO全球大気監視の温室効果ガス世界監視ネットワークによる観測データ(観測地点は図表1参照)を収集・解析した結果に基づき作成され、2005年から毎年発表されている。第4号は、気候変動枠組み条約第14回締約国会議、京都議定書第4回締約国会合で配布される予定である。

第4号の概要は、以下のとおりである。

①二酸化炭素(CO₂、温暖化係数1)

CO₂の2007年の世界平均濃度は383.1ppmであり、過去最高値となった(図表2)。前年からの増加量は1.9ppmで、最近10年間の平均増加量(2ppm)と変わらず、単調に増加している。これは、主に化石燃料の燃焼による放出量の増加に起因している。

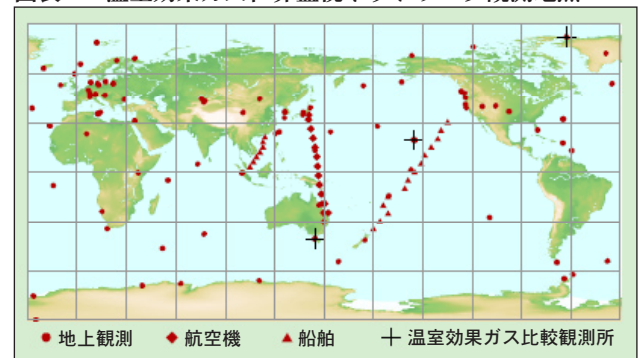
②メタン(CH₄、温暖化係数21)

メタンの2007年の世界平均濃度は1,789ppbであり、2003年の過去最高値を大きく上回った(図表3)。最近10年間は緩やかな増加(平均増加量2.7ppb)であったが、2006年からの増加量は6ppbと1998年以来最大となった。メタンは、自然(湿地、シロアリなど)から約40%、人間活動(化石燃料採掘、稲作、反芻動物など)から約60%が放出されている。

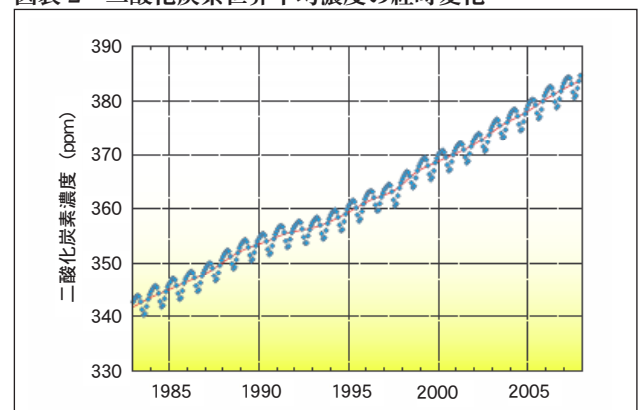
③一酸化二窒素(N₂O、温暖化係数310)

N₂Oの2007年の世界平均濃度は320.9ppbであり、過去最高値となった。前年からの増加量は0.8ppbで、最近10年の平均増加量(0.77ppb)とほぼ同等であり、CO₂と同様に単調に増加している。N₂Oは、土壌、燃焼、施肥、工業過程などから放出される。

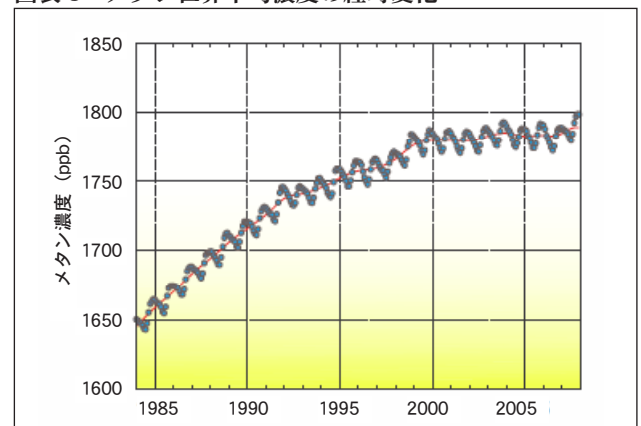
図表1 温室効果ガス世界監視ネットワーク観測地点



図表2 二酸化炭素世界平均濃度の経時変化



図表3 メタン世界平均濃度の経時変化



出典：参考文献¹⁾

参 考

1) 気象庁プレスリリース： http://www.jma.go.jp/jma/press/0811/25a/ghg_bulletin_1125.html

半導体デバイスなどを作製するうえで重要な情報であるキャリア濃度や移動度などは、テラヘルツ波 (THz 波) と言われる遠赤外線を使うことにより得られるが、これまでは半導体デバイスの分析に必要な空間分解能は実現できていなかった。ドイツのマックスプランク研究所の研究グループは、2.54THz (波長 $118\mu\text{m}$) の THz 波を用いて発生させた約 30nm の領域に局在する近接場光を使用し、波長の 1/3000 に相当する 40nm という空間分解能で THz 波像を得ることに成功した。透過電子顕微鏡や赤外線による観察では得られない半導体中のキャリア濃度の違いが、THz 波による像でのコントラストとして観測することができた。

トピックス 5 テラヘルツ波によりナノスケールでキャリア濃度を画像化

テラヘルツ波 (THz 波) とは、振動数がおよそ 0.1THz (テラヘルツ) から 10THz の可視光と電波の間に位置する電磁波である。波長で言えばおよそ $30\mu\text{m}$ から 3mm で、遠赤外線からミリ波に相当し、その応用分野は多岐にわたる。半導体でのプラズマ周波数がテラヘルツ帯にあるため、半導体デバイスなどを作製するうえで重要な情報であるキャリア濃度や移動度などを、非接触で計測できると期待されている。しかしながら、使用する光の波長の 1/2 以下の大きさの物体は光の回折現象により見るができないという「回折限界」と呼ばれる原理的限界があるため空間分解能の高い計測は実現していなかった。

2008 年 10 月、ドイツのマックスプランク研究所の研究グループは、走査型プローブ顕微鏡のひとつである近接場顕微鏡の原理を THz 波に適用し、初めてナノスケールの空間分解能でトランジスタ中のキャリア濃度の分布像を得たと発表した¹⁾。

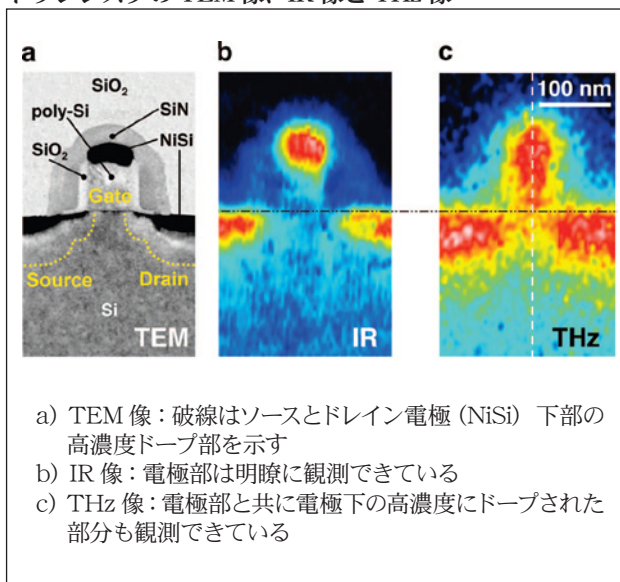
研究グループは、原子間力顕微鏡 (AFM) に使われる先端を白金コートしたシリコンカンチレバーの先端 (曲率半径約 30nm) に、メタノールガスレーザ (2.54THz、波長 $118\mu\text{m}$ 、連続発振) からのテラヘルツ波を集光して照射し、チップ先端の光の波長よりはるかに狭い領域に局在して発生する近接場光を利用した。試料により散乱された近接場光強度を検出器で計測した。干渉計の使用とカンチレバーを共振周波数 (35kHz) で振動させ信号に変調を加えることにより、バックグラウンド光の影響を低減し信号対ノイズ (S/N) 比の向上を図った。

近接場光の存在を確認するためチップと試料表面間の距離を変化させて散乱光強度を計測したとこ

ろ、約 30nm の距離で 1/e にまで減衰しており、実際にチップの先端部分に THz 波が局在していることが確認された。一方、数値計算によりチップ先端における電場を評価したところ、先端部では x,y,z の全方向についてほぼ 30nm に局在するという観測と良く一致する結果が得られた。

この方法で実際にナノスケールのトランジスタ構造を観察し、得られた像 (THz 像) を透過電子顕微鏡像 (TEM 像) や波長 $11\mu\text{m}$ の赤外線像 (IR 像) と比較した (図表参照)。THz 像では、TEM 像や IR 像では見られない半導体中のキャリア濃度の違い、すなわちドーパ量の違いを画像化できた。さらに、そのラインプロファイルから、波長の 1/3000 に相当する 40nm の空間分解能が確認された。

トランジスタの TEM 像、IR 像と THz 像



出典: 参考文献¹⁾

参 考

- 1) Huber, A. J. et al., "Terahertz Near-Field Nanoscopy of Mobile Carriers in Single Semiconductor Nanodevices" Nano Lett. vol.8, 3766–3770 (2008)

省エネルギーに寄与する照明の効率化技術

武井 義久

環境・エネルギーユニット

1 はじめに

人類は火という光源の利用に始まり、今日まで数々の人工光源を開発してきた。これらの光源の利用によって、人類は太陽光の届かない場所や時間帯でも自在に活動できるようになり、特に電灯の普及後は、人工照明(以下、照明と記載)なしの生活はもう考えられないほどになってしまった。

人工光源は、諸活動のための照明だけではなく、暖房や乾燥などの熱源、通信や複写などの情報処理の媒体、交通信号機や広告塔などの表示、景観地などでのライトアップなど、その使用箇所は枚挙に暇がないほど、人類の生活に密着している。

しかし、これらの光は果たして効率的に使われていると言えるのであろうか。光はエネルギーの一種態であるため、光源の点灯には相応の電力消費が伴うものである。

照明は、主に化石エネルギーの消費によって成り立っているため、効率化は不可欠である。

我が国は、京都議定書の締結により、温室効果ガス排出量の削減の義務を負いながら、実際の排出量は、逆に基準年に比べ増加している。特に化石エネルギー使用量の削減については、既存の対策に加えて、新たな対策も講じることが求められている。我が国では、照明が国内総発電量の十数パーセントを消費している大きな用途であるため、省エネルギー化を図る必要がある分野である。

海外においては欧米各国を中心に、温室効果ガス削減の対策として、蛍光灯などよりも効率の劣る白熱電球の使用を禁止する政策が進められている。我が国でも経済産業省の意向を受ける形で、照明器具メーカーが汎用白熱電球

の2012年までの生産中止を発表した。これにより白熱電球から蛍光灯への置き換えが急速に進むことになる。メーカーや大学等の研究機関においては、蛍光灯よりさらに効率的な光源と成り得る、照明用発光ダイオード(以下、LEDと記載)の開発が進められている。こうした状況下、総合科学技術会議は2008年5月、「環境エネルギー技術革新計画」¹⁾において、新たな光源を用いた高効率照明を温室効果ガス排出量削減に必要な技術として取り上げている。

本稿では省エネルギーに寄与する照明方法と題して、高効率な照明器具の開発、さらにこれまであまり議論されていなかった効率的な照明方法について、最新の技術動向を報告する。

2 照明の現状

2-1

照明の効率化の必要性

2005年度の我が国の総発電電力量988,900GWh²⁾のうち、照明に

消費された電力量は135,500GWh³⁾であった。これは図表1に示したように、発電した電気エネルギーの13.7%が照明に消費されていることになる。照明は人々の生活で比較的身近な存在であるので、各個人にとっても省エネルギーに取

り組みやすく、かつ消費量が多いために改善の効果が大きい分野である。

鏡を用いた太陽光の採り入れや蓄光の技術も省エネルギーに寄与するが、本稿では人工照明の効率化に焦点を当てる。ここで言う人

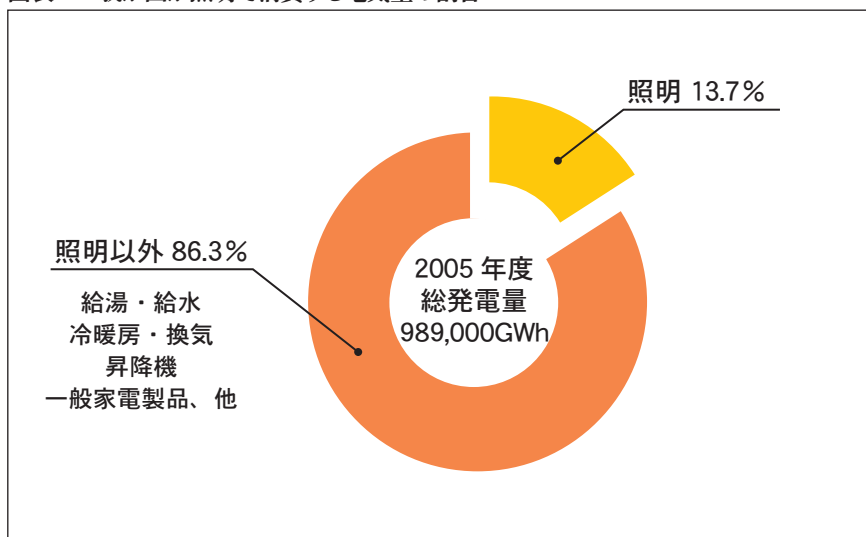
工照明とは、人工光源に電気エネルギーを投入した結果得られる光エネルギーで照明を行うものである。

2-2

現在普及している 照明用ランプ

図表2に示したように、照明用ランプはその発光原理から3種類に大別できる。それぞれに使用上の長所・短所があり、目的に応じ使い分けがされている。またエネルギーの効率性という観点で、これらのランプを比べるために、総合効率という指標が広く用いられている。総合効率は、ランプを取り付けた照明器具が発する全光束(ランプが全ての方向に出す光の量)(単位lm:ルーメン)を、その器具が消費した電力(単位W:ワット)で割った値(lm/W:ルーメン毎ワット)で表す。総合効率の値が大きいほど、少ない消費電力で同じ明るさを確保できるため、効

図表1 我が国が照明で消費する電気量の割合




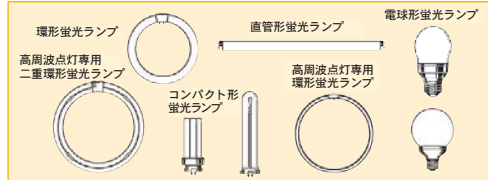
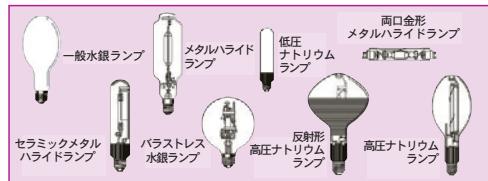
科学技術動向研究センターにて作成

率が良いと言える。図表3に代表的なランプの総合効率の2005年時点の代表値を示す。

図表4は2005年度のランプの国内出荷数量をまとめたものである。年間約5億本のうち、蛍光ランプが最も多く、続いて白熱・ハロゲン電球、HIDランプの順である。図表3に示したとおり、白熱電球と蛍光ランプは効率の差が大きいので、単純に置き換えるだ

けでも省エネルギーとなる。しかし、蛍光ランプと白熱電球の比が約2対1と、すでに蛍光ランプの普及が大きく進んでしまっている我が国では、白熱電球の方が多い国々とは異なり、より高効率な照明システムも合わせて開発しなければ、大きな省エネルギー化にはつながらない。

図表2 代表的な照明用ランプ

ランプの種類		主な用途	特 徴	
白熱・ハロゲン電球	 <p>一般照明用、ボール、シャンデリア、ハロゲン、他</p>	<ul style="list-style-type: none"> 住宅 商業施設 アミューズメント施設 	長所	<ul style="list-style-type: none"> 安価で使いやすい 光の方向を変えられる 色の見え方がいい やすらぎ感が強い
			短所	<ul style="list-style-type: none"> 寿命が短い(1,000～2,000時間) 効率が低い 発熱が大きい
蛍光ランプ	 <p>環形、直管形、電球形、コンパクト形、他</p>	<ul style="list-style-type: none"> 住宅 事務所 工場 商業施設 	長所	<ul style="list-style-type: none"> 寿命が長い(3,000～10,000時間) 効率が高い さまざまな光色が作れる
			短所	<ul style="list-style-type: none"> 寒さに弱い 点滅繰り返しに弱い
HIDランプ	 <p>水銀、メタルハライド、低圧ナトリウム、高圧ナトリウム、他</p>	<ul style="list-style-type: none"> スポーツ施設 道路・トンネル 商業施設 	長所	<ul style="list-style-type: none"> 寿命が長い(6,000～12,000時間) 効率が高い 小さくて明るい
			短所	<ul style="list-style-type: none"> ランプ自体が高価 明るくなるまで10分程度かかる

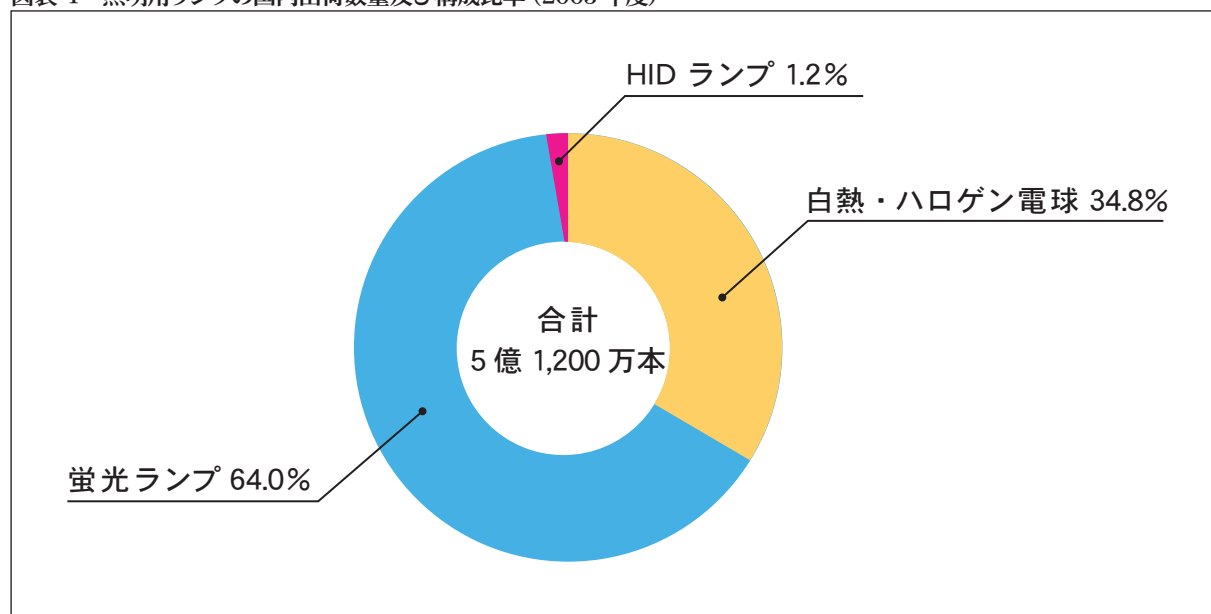
参考文献⁴⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 3 代表的な照明用ランプの総合効率 (代表値)

分 類	ランプの種類	総合効率 [lm/W]
白熱・ハロゲン電球	ハロゲン電球 (100W)	16
	一般白熱電球 (60W)	14
蛍光ランプ	Hf 形蛍光ランプ (45W)	92
	一般白色蛍光ランプ (36W)	77
	電球形蛍光ランプ (25W)	61
HID ランプ	一般形高圧ナトリウムランプ (360W)	123
	メタルハライドランプ (400W)	90
	蛍光水銀ランプ (400W)	52

参考文献⁵⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 4 照明用ランプの国内出荷数量及び構成比率 (2005 年度)

出典：参考文献³⁾

3 照明システムの効率化対策

照明システムの効率化のためには、次の 2 つの対策がある。

(1) 照明器具の効率化

照明器具の効率を高めることで、より少ない電力で同様の明るさを得るものである。これまでそれぞれの製品について、ランプ本体や点灯回路の改良により、次々と効率化が進められてきた。しかしながら既存の製品の効率向上は、本体、回路ともに、そろそろ限界を迎えつつある。そこで従来のランプを用いた照明器具より飛躍的に効率が高い LED などの新たな光源の開発が進められている。

(2) 照明方法の効率化

必要な明るさを必要な範囲で使用するという、照明の使用方法的効率化であり、主に屋内照明用の対策である。省エネルギー対策としては、これまであまり議論されたことはないが、照明器具の種類に関係なく省エネルギー化が図れるものである。

3-1

従来照明器具の効率化

3-1-1 白熱・ハロゲン電球

19 世紀に開発された最も歴史あるランプが白熱電球である。熱エネルギーとして損失する割合が高く、効率の悪い器具であるが、暖かみのある色味であることから、現在でもまだ商業施設を中心に広く使われている。しかし電球形蛍光ランプで代替が可能な一般白熱電球は、照明器具メーカーが 2012 年までの生産中止を発表したことで、いずれは消滅する見込みである。

ただし、クリプトン電球やハロゲン電球などの特殊電球は、コンパクト性のほかに、高演色性などの照明演出効果が高いことが特徴であるため、電球形蛍光ランプで

は代替が難しい。これらの電球は引き続き生産されるが、特殊電球を代替できる製品が現れれば、この分野での省エネルギーも達成できることになるため、演色性などが向上した製品の出現が望まれる。しかし、照明全体のうち特殊電球が占める割合は小さく、全体の省エネルギー化への寄与は小さい。

3-1-2 蛍光ランプ

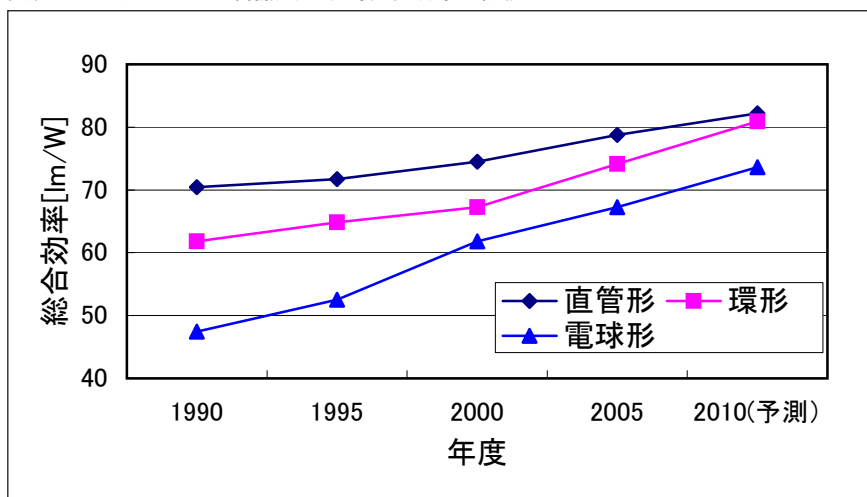
図表4に示したとおり、出荷数の6割を超える、我が国では最も普及している照明器具である。蛍光ランプは、20世紀に開発された当初は直管形のみであったが、その後、環形が、さらに電球形が開発され、現在では使用場所によって各々の形状が使い分けられている。その高効率性と長寿命性から、我が国では1970年代のオイルショックが契機となり大きく普及した器具である。

蛍光ランプはこれまで効率化の技術開発が盛んに行われてきたが、ランプ本体だけでなく安定器などの点灯回路の改善も進められ、特に発光に寄与しない損出を低減させることができるインバータ式安定器と、インバータ式専用のHf蛍光ランプ(高周波点灯専用蛍光ランプ)の開発は、大きな効率改善につながった。

一方、従来の一般白熱電球の代替用途のために開発されたのが、電球形蛍光ランプである。電球形は安定器などの点灯回路を内蔵しているため、電球のソケットにそのまま設置できるようになっている。電球型は白熱電球の発光効率の約4倍であり、同じ明るさにするための消費電力が約1/4になるため、単純に置き換えるだけで大きな省エネルギー効果が得られる。電球形蛍光ランプ製造工程のコストダウンが進んできたことで、短期間で導入が進展するようになってきた。

図表5は、蛍光ランプ照明器具

図表5 蛍光ランプ照明器具の平均総合効率の推移



出典：参考文献³⁾

の総合効率の平均値の推移である。各ランプとも年々向上してきたが、特に直管形と環形はインバータ化によるHf蛍光ランプの普及により効率が向上している。

蛍光ランプは、現在我が国で最も普及している器具であるが、水銀が封入されており、問題点として廃棄後の水銀の扱いがある。廃蛍光ランプからの水銀の回収を事業化している会社もあるが、持ち込まれる廃蛍光ランプは一部に留まっており、燃えないゴミとして回収し、埋め立て処分としている自治体も依然として多い。これまでの改良によりランプへの水銀の封入量は、1980年製では1本当たり100mgだったものが、2007年製では10mgを下回るまでになった⁶⁾が、まだゼロにはなっていない。回収制度の確立が大きな課題となっている。

3-1-3 HIDランプ(高輝度放電ランプ)

高圧水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプの総称で、高輝度放電ランプともいう。効率が非常に高いが、広範囲を一定時間継続して照らすのに適しており、工場や体育館、道路などで広く用いられている。

メタルハライドランプは、大規模屋外照明用として普及していた

水銀ランプより、効率と演色性を向上させる目的で開発され、徐々に水銀ランプからの置き換えが進んでいる。しかし、照明全体のうち、HIDランプが占める割合は小さく、かつ廃棄後の水銀の問題を有する。

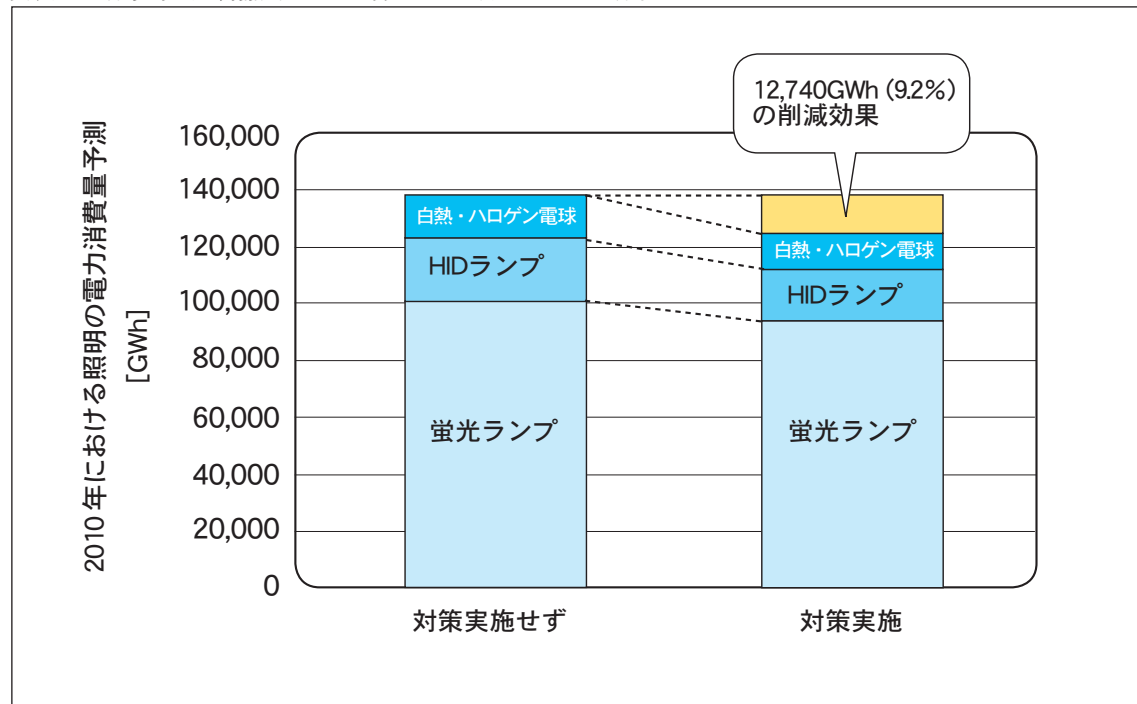
3-2

従来照明器具の効率化による省エネルギー効果

(社)日本電球工業会では、効率的な照明器具への交換による4つの省エネルギー対策⁴⁾を推奨している。これにより得られる電力消費量の削減効果は、最大で年間12,740GWhに達する。同工業会は、未対策の2010年の電力消費量を138,000GWhと予測しており、2010年までに次の(a)～(d)の対策が全て達成できれば、全体の9.2%に相当する大きな削減幅となる。

- (a) 一般照明用白熱電球を高効率的な蛍光ランプに切り替える。(ただし代替可能なものは半数と仮定する)
- (b) ハロゲン電球を高効率的なランプに切り替える。(ただし代替可能なものは半数と仮定し、代替品は蛍光ランプとメタルハラ

図表 6 効率的な照明器具への切り替えによる省エネルギー効果

参考文献⁴⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

イドランプを 1:1 の割合と仮定する)

- (c) 蛍光ランプの中で最も使用数の多い 40 形の直管形の蛍光ランプを全て Hf 蛍光ランプに切り替える。
- (d) 水銀ランプを全てメタルハライドランプに切り替える。

これまで蛍光ランプなどの照明器具の効率化は着々と進んできた。今後も照明器具メーカーにより効率向上が進むものと期待される。しかしながら効率向上にも限界はあり、今後現行の倍の 200lm/W に達するような大幅な向上を望むのは難しい。そこでランプに代わる新たな光源の開発が進められている。

3-3

新たな光源を用いた照明器具の開発動向

3-3-1 LED 照明器具の開発

LED は電流を流すと発光する半導体の一種であり、従来のラン

プでは難しいとされる発光効率 200lm/W も実現できる次世代型光源として期待されている（ただし、照明器具としてではなく、光源単独の効率）。LED は材料である半導体自体が発光するため、劣化部分が少なく、ランプより長寿命である。LED チップ（回路を含まない半導体本体）では、すでに発光効率 150lm/W に達するものが開発されている。しかし、現状では、器具とした場合の効率の低下が大きく、総合効率の向上が目下の課題となっている。この効率の低下は、交流電源の直流への変換ロス（LED は直流電流を要するため）や周辺機器から熱を受けること（熱による効率低下）が原因とされている。

また照明用 LED は、そのままでは光が青白い。白熱電球や電球形蛍光ランプの代替にはならないため、白熱電球に近い色の製品開発が望まれている。しかし色温度を下げると効率が犠牲になるため、既存製品を置き換えるためには更なる効率の向上が急務とされている。

図表 7 は、NPO 法人 LED 照明推進協議会が示している LED 照明器具の総合効率の向上見込みであ

る。暖白色（電球色）の製品は白熱電球や電球形蛍光ランプからの置き換えを目指すものである。すでに白熱電球の発光効率を大きく上回っているが、蛍光ランプとは同等程度である。効率は年々さらに向上すると見込まれており、電球色 LED 照明器具が蛍光ランプを追い越すのは数年後と考えられている。2015 年頃には代表的な HID ランプであるメタルハライドランプや現在最も高効率な蛍光ランプである Hf 形の発光効率も追い越す見通しである。

ここで LED 照明器具の導入効果の可能性を定量的に示すため、次の (a)～(c) の仮定を置いたうえで最大値を図表 8 に見積もった。

(a) 必要な照明の規模

全体の照明の必要規模を固定した。(社)日本電球工業会が予測した 2010 年の全光束放出量（照明器具が発する光の量の総合計）を各年度の必要量とした。2010 年の消費電力量は図表 6 の対策実施後とした。

(b) LED 照明器具の効率

図表 7 の NPO 法人 LED 照明推進

協議会が示した技術ロードマップに基づくが、2050年は予測されていないため、2020年と同じ値とした。

(c) 既存の器具からの置き換えの進捗

2015年までに白熱・ハロゲン電球は全てLED化、それ以外は徐々に置き換えが進み、2050年には全量LED化すると仮定した。つまり、効果の最大値を見積もる予測である。

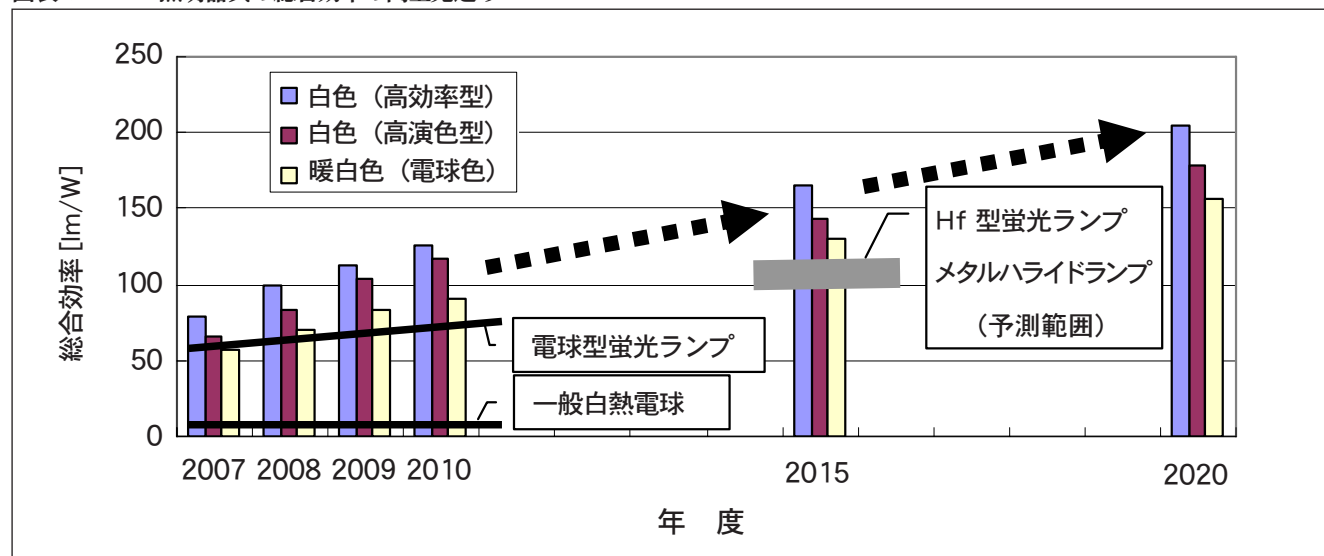
これらの前提を基にLEDの導入効果を見積もった結果が図表8である。現在の消費電力量が半減するという大きな可能性が得られる。このようにLED照明は、照明の省エネルギー化には非常に有効な技術であるが、今後普及させていくためには、解決すべき技術的な課題も多い。

これまで効率だけで効果を論じてきたが、経済性が成り立たなければ普及は進まないため、製品コ

ストの低減は大きな課題である。現在のLED照明器具の価格は、蛍光灯照明器具の4～6倍である。初期投資が高くても、電球形蛍光灯器具と高効率型LED器具を比べた場合、5～6年で回収⁸⁾できるだけの価格がすでに設定されている。しかし、導入メリットを大きくするためには、今後の製品コストの低減が望まれる。

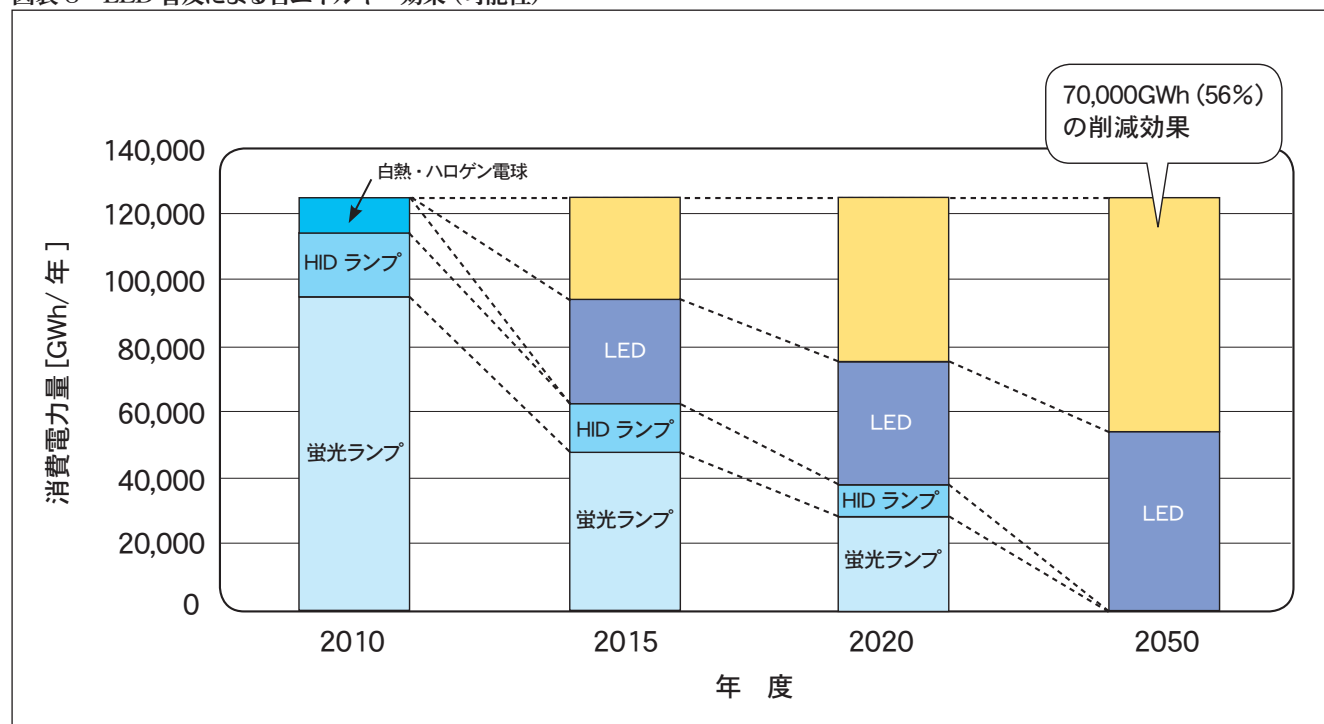
従来製品との置き換えには、効率以外の点でも従来製品と同等以

図表7 LED照明器具の総合効率の向上見込み



参考文献⁷⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表8 LED普及による省エネルギー効果(可能性)



科学技術動向研究センターにて作成

上の性能が求められる。白熱電球やハロゲン電球は、その光の暖かみが好まれているため、LEDも蛍光灯のように電球色の開発が進められている。まだ開発途上であり、人々がその光に満足できるだけの光の質の改善や品揃え等が必要である。

製品化してから歴史の浅い照明器具であるため、規格類がまだ整備されていない。今後の需要の伸びとともに、参入してくるメーカーもさらに増えていくと予想されるため、これらの策定が必要となる。

3-3-2 有機 EL 照明器具の開発

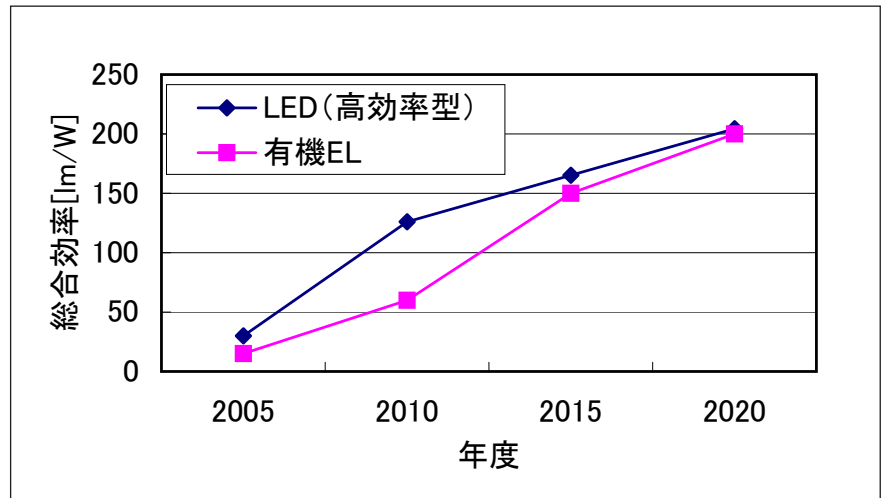
LEDの次の世代の光源として、有機ELの照明器具の開発も進められている。有機ELの優位性として、以下の特徴が挙げられている⁹⁾。

- 発光物を基板となる面に蒸着させることで、発光面を形成する。この発光面が非常に薄いため、器具を薄くできる。また基板を曲がる材料にすれば、自由に曲げることも可能である。
- 理論上は200lm/Wの発光効率が可能と計算されている。また発光物の組み合わせにより、自由な色を発光させることができる。

このように有機ELは、LEDも含めたこれまでの光源とは異なる特徴を持つため、従来の照明器具の代替だけでなく、全く新たな使用方法が期待されている。例えば歯ブラシやデンタルミラー、ルーペ、バッグなど、これまで照明が取り付けられなかった場所への設置も考えられている。

現在は総合効率が20lm/Wと白熱電球程度、寿命が3,000時間と蛍光灯の1/2以下であり、試作レベルに留まっている。図表9に示すとおり、総合効率については、将来的にLEDに追いつくというロードマップも描かれており、素子の高寿命化とともに照明器具と

図表9 有機EL照明器具の総合効率の向上見込み(LEDとの比較)



参考文献⁹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

しての製品化に向けた開発が進められている。LEDに順ずる効率や寿命が達成できれば、自由な色を発光させられるという特徴を活かし、普及も進むものと期待される。

3-4

照明方法の効率化

3-4-1 照明の電力消費量推移

3-2に記載したとおり、照明器具はすでに大きな効率化が進められてきた。ここでは、この効率化は省エネルギーにつながっているのかを、これまでのデータを基に確認する。

図表10には、(社)日本電球工業会が積算した照明用ランプの総電力消費量と発光効率の推移を示す。電力消費量は1990年から2010年まで130,000～140,000GWhで、ほぼ一定であった。一方、平均発光効率(国内で使用された全てのランプの発光効率の加重平均値)は、年々増加してきた。

本来同じ明るさを維持するならば、器具の効率化に伴い総電力消費量は年々減少したはずである。仮に1990年と同じ明るさで満足したと仮定すると、2005年は1990年に比べ効率が10%以上向上したため、10%以上の省エネルギー

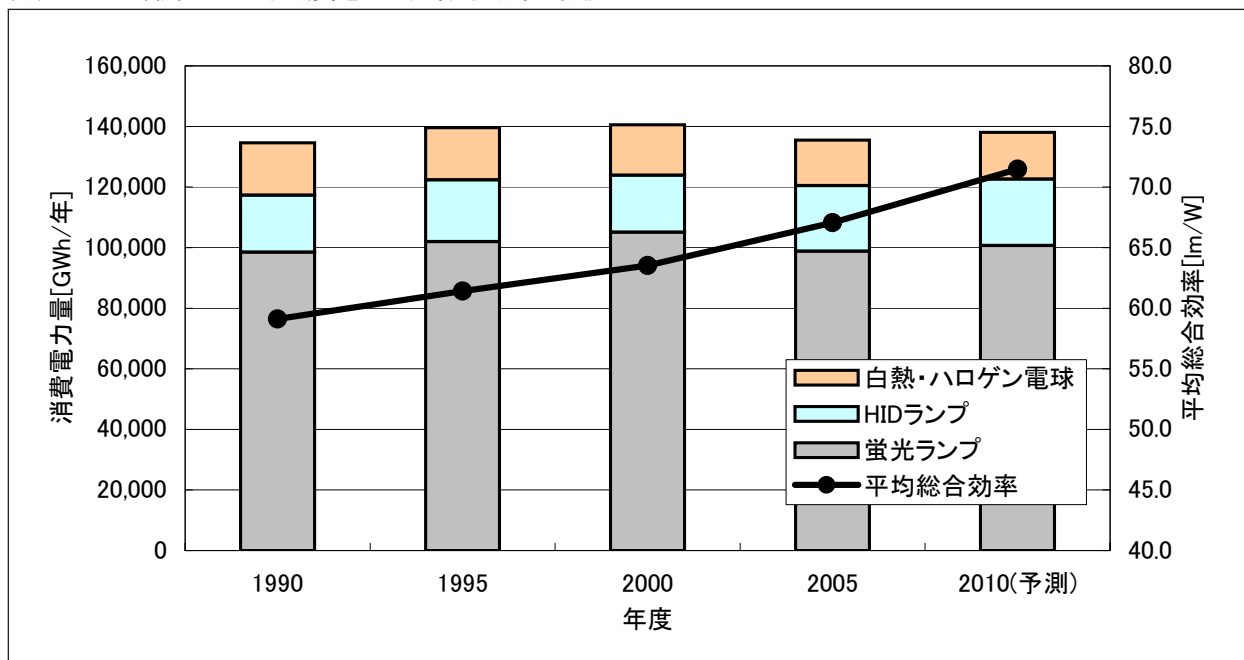
が達成できたはずである。結果的に達成できなかったということは、別の要因があり何らかの改善の余地があり得たことを示している。

これまで照明は、常時明るい方が快適で作業効率も上がると思われていた。しかし現在のオフィスの場合では、パソコンでの事務作業が増えたこともあり、必ずしもそうとは言えなくなっている。照明を必要最小限の明るさに調整することは、省エネルギーにも寄与することになるため、次に紹介するような照明方法の効率化が検討されるようになった。

3-4-2 タスク・アンビエント照明

タスク・アンビエント照明とは、作業用と周囲用の照明を別々に設置する方法である。通常、オフィスでは、昼夜を問わず部屋の隅々まで一定の明るさが確保されている。これに対し、業務における作業場所は机上など特定されているため、この作業場所だけを一定の明るさとすればよいという考え方が、タスク・アンビエント照明である。天井照明は部屋の雰囲気のためのアンビエント照明として機能させ、机上の明るさは手元の作業用のタスク照明によって確保する。図表11は、タスク・アンビエント照明の概念図である。

図表 10 照明用ランプの総消費電力と平均総合効率の推移



出典：参考文献³⁾

これにより照明の省エネルギーを図ることができるうえ、天井照明の電力を下げることは放散する熱も減らすことができ、冷房効率の向上にもつながる。タスク・アンビエント照明を導入したことにより、消費電力が30%低減し、さらに照明機器からの熱の放散が抑えられた結果、冷房用電力消費量を15%低減したとの報告¹⁰⁾もある。このように照明方法の効率化は二次的な効果も期待できる。

図表 11 の概念図では、作業者はタスク照明の on/off 操作でしか明るさを調整できないが、人には各々好みの明るさがあるという観点から、アンビエント照明の明るさを可変的に調整できるシステムの開発¹¹⁾が大学の情報処理の研究室において行われている。この方法は次節で紹介する多灯分散照明と同様に、オフィスにおける作業者の快適性を高め、作業効率を上げることが目的である。実験ではさらに20%の効果がああり、合計で最大50%もの消費電力の減少が見られた。タスク・アンビエント照明はこのような大きな省エネルギー効果が期待されている効率的な照明方法である。

図表 11 タスク・アンビエント照明の概念図

形 式	TAL (1)	TAL (2)	TAL (3)
タスク照明用	タスク灯	タスク灯	タスク灯
アンビエント照明用	全般照明	アッパーライト	TAL (1) と TAL (2) との複合
姿 図			

※ TAL (Task and Ambient Lighting の略記)

出典：参考文献¹²⁾

3-4-3 多灯分散照明

多灯分散照明とは、消費電力の少ない照明を複数置き、目的に応じて使い分ける方法である。住宅のリビングルームでは、天井に環形蛍光灯を設置し、ダイニングテーブル上にもう1つの器具を置くのが一般的である。例えば図表 12 の左の写真の例では、合わせて92Wになる。本来、部屋で活動する際に、人数のほか、時間帯(夕方か深夜か)、目的(読書か団欒か)などに応じて、適した明るさというものがあるが、従来の設置方法ではこの調整が難しい。夜間に明るい部屋で過ごすことは、人間の本来の生活リズムを崩すことにつながり、睡眠の質に影響するとも言

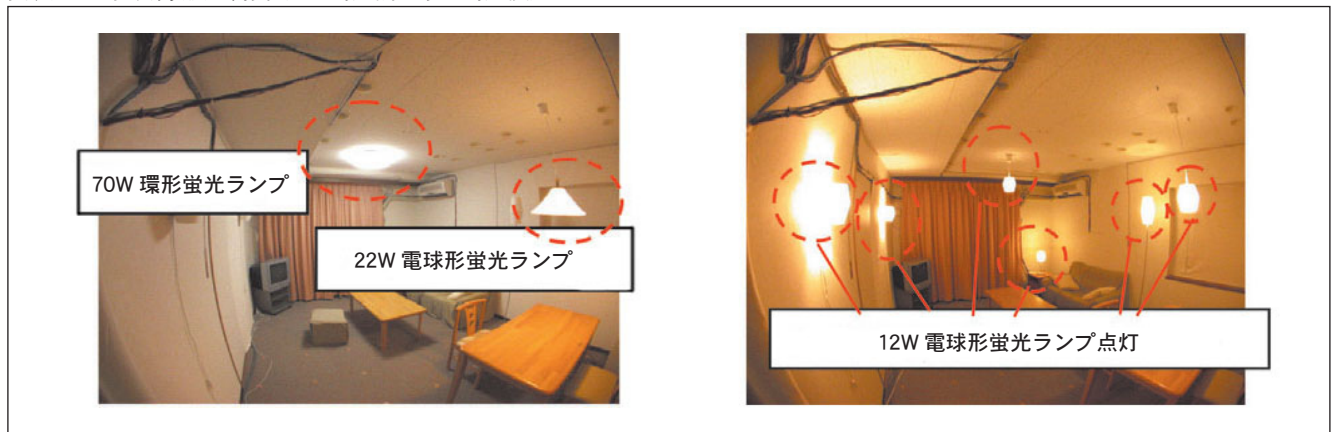
われている。

また高齢者のいる家庭では、どうしても室内照明が明るくなりがちであるが、作業上十分な明るさが必要なのは手元のみであり、部屋全体を明るくすることは必ずしも必要ではない。

照明器具を複数設置し、部屋の活動内容に応じて器具の点灯箇所を使い分け、照明の効率を上げようという考えが多灯分散照明である。図表 12 の右側の写真の例では、12W の蛍光灯を6個設置しているが、仮に同時に点灯しても72Wである。元々の電力を超えないというのが改善の原則である。

この方法は、照明方法の調整により、より快適な居住空間を創造

図表 12 多灯分散照明例 (左: 導入前、右: 導入後)

出典：参考文献¹³⁾

するために開発されてきたものであるが、結果的に省エネルギーにもつながる考え方として期待されている。

3-4-4 人感センサーおよび照明管理システムの導入

人感センサーは、人の存在を感

知して照明を点消灯するシステムで、消灯忘れによる無駄を無くするためのシステムである。家庭の玄関灯やオフィスビルの非常階段灯などで採用例も増え、身近な存在になりつつある。

照明管理システムは、太陽光が採り入れられる室内などにおいて、

室内照明の照度を自動的に調整するシステムである。すでに商品化されたシステムであるが、明る過ぎる照明を調整できる有用なシステムである。採用はまだ一部の建物に限られている。

4 効率化照明の普及に向けた今後の課題

4-1

高効率な照明器具普及のための開発推進

将来的な目標は全ての照明器具の高効率化であるが、近々の課題としては、まず効率の悪い白熱電球やハロゲン電球の全廃が急務である。そのためには小型の電球形蛍光灯ランプなど、白熱・ハロゲン電球の代替製品の開発も合わせて必要である。我が国より電球を好んで使っている国々での普及推進は世界的な省エネルギーに寄与するものと期待できる。

3-3にこれまでの照明器具に代わる高効率な器具として、LEDと有機ELを紹介した。特にLEDは、技術ロードマップに示された効率が実現すれば、大幅な省エネルギーが期待できる次世代の照明器具である。

4-2

データの収集と公表

照明の効率化は一般家庭でも取り組める省エネルギー活動である。しかし照明の占める消費電力量に関して、公表されているデータが少ない。国民の省エネルギー意識を高めるためにも、特に家庭での消費電力については、継続的に調査し、国民に実情を知らしめる必要がある。

4-3

法制度の整備

4-3-1 エネルギーの使用の合理化に関する法律の改訂

省エネルギーに関する法律とし

て、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」がある。1979年の制定から今日まで30年近く運用され、国内の省エネルギーについて大きな成果を上げてきた。法には照明設備についても取り決められているが、対象が延べ床面積2,000m²以上の新築の特定建築物に留まっている。これを既存の建築物にも適用範囲を広げ、より高い省エネルギー効果を得る必要がある。

また省エネルギーを推進するために、エネルギー管理士やエネルギー管理員の資格制度が設けられている。今後は照明の改善の専門家として、照明士の権威付けも必要である。

4-3-2 補助金

LED照明器具や高効率照明の方法など照明の省エネルギー技術が開発され、コスト削減も合わせて

検討されている。しかし、初期段階ではコスト高になるのは避けられない。新たな技術の普及のためには、省エネルギー技術導入のための普及補助金の前例に倣い、照明の分野にも補助金を出資することで、高効率照明器具の導入を奨励することが必要である。

効率的な照明方法の開発については、現在は大学における研究が中心である。実験室で得られた技術を確認するためには、ある程度の規模の建築物で一定期間行う実証実験が不可欠である。照明方法の効率化研究を進めるためには、できあがった技術の導入時点ではなく、このような実験の段階での資金援助が必要かつ効果的である。

4-3-3 規格の見直し

オフィス照明の設計における必要照度は500ルクスと定められている³⁾。ランプが経時劣化した後でも500ルクスを確保しなければならないため、設置する際の初期照度は700ルクスに設定されている。これは本来の必要照度を40%も上回る過剰な安全率であると考えられる。

また現在定められている照度基準¹⁴⁾は1979年に制定されたもの

であり、現在のようなパソコン作業が中心であるオフィスでの業務形態を想定していない。省エネルギーを目指すべき現在において、必要な照度を再考し、制度改訂する必要がある。

4-4

照明技術者の育成

タスク・アンビエント照明や多灯分散照明などの効率的な照明方法は、建物の設備設計時に、施主に理解して採用してもらわなければならない。それには効率的な照明方法を理解した技術者が設備設計に携わる必要がある。

そのためには照明の技術者を資格制度とし、統一的な育成をする必要がある。照明学会では独自の教育カリキュラムを設け、合格者には照明コンサルタントや照明士などの称号を与えているが、一般にはあまりなじみがない。これまで以上に照明技術者が設計に携わるには、技術者の発言力を強める必要がある。4-3-1にも述べたように、これには照明士を国家資格とするなどの法の整備が必要である。

また、建物の設備設計にはすでに建築士等の資格制度が確立しているため、照明技術を既存の資格の履修科目として追加することで、照明技術も有する設計技術者を育成することも可能となる。

4-5

照明分野での我が国の技術競争力の維持

これまで我が国では効率の良い器具を使用することで、照明の省エネルギー化が図られてきた。これは蛍光灯のインバータ化などの照明器具メーカーの技術革新によるものが大きく、さらにLEDや有機ELなどの新たな光源の開発においては、我が国の技術が業界をリードしている。

このように新たに高付加価値品を開発することは、我が国の得意とすべきところであり、今後も優れた開発や製造などの複数の技術を同時に磨かなくてはならない。また、この分野の技術力を世界にアピールしていく必要もあると考えられる。

5 おわりに

現代の人間の生活において、エネルギーの消費は不可欠である。本稿では照明の省エネルギーについて論じたが、効率の良い機器を効率良く使う技術が必要であるということは、どのエネルギー機器にも共通して言えることである。よって、省エネルギーは特定の場

合だけを考慮すればいいのではなく、どんな場合においても現状を把握し、最適条件で実践すべきものである。これだけやれば終わりというものではなく、絶えずムダゼロを目指し努力を継続しなければならない。

謝辞

本稿の執筆にあたり、日本大学生産工学部 大谷義彦教授、金沢工業大学 建築・環境学部 金谷末子

教授、NPO法人LED照明推進協議会企画運営委員会 下出澄夫委員長、同志社大学 理工学部 三木光範教授、株式会社日建設計 設備設計部 本多敦部長には貴重なご意見を多数頂戴致しました。この場を借りて、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 総合科学技術会議、「環境エネルギー革新計画」(2008)
- 2) 電気事業連合会ホームページ、「でんきの情報広場」: <http://www.fepc.or.jp/library/index.html>
- 3) (社)日本電球工業会、「照明における省エネ提案」(2006)
- 4) (社)日本電球工業会、「あかりの省エネ」(2007)
- 5) 河本康太郎、中村芳樹、「省エネルギー照明技術」、(財)省エネルギーセンター(2005)
- 6) Robin Devonshire, 「Environmental Pressures on Lighting: How is the Technology Responding?」、松下テクニカルジャーナル、Vol.53, No.2, 36-41 (2008)
- 7) LED照明推進協議会、「白色LEDの技術ロードマップ」
- 8) パナソニック電工(株)LED照明器具カタログ、p29
- 9) 有機エレクトロニクス研究所ホームページ、「有機EL照明開発ロードマップ」: <http://www.organic-electronics.jp/>
- 10) 鹿島建設(株)KaTRIリーフレット、「オフィスエネルギーの省エネルギー手法」(2000年9月)
- 11) 三木光範、後藤和宏、廣安知之、「集中制御による知的照明システム」、照明学会、全国大会講演論文集(2006)
- 12) (社)照明学会ホームページ、「基礎事項解説」: <http://www.ieij.or.jp/what/yougo.html>
- 13) 三木保弘、「高効率ランプの多灯分散による住宅照明の質向上と省エネルギーの両立」、国土技術政策総合研究所、アニュアルレポート(2005)、84-85
- 14) 日本工業標準調査会 JIS Z9110-1979

執筆者プロフィール



武井 義久

環境・エネルギーユニット
科学技術動向研究センター 特別研究員
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

石油会社において、石油精製の設備管理、石油備蓄の基地運営、新規事業の開発業務などに従事。現在、環境・エネルギー分野で、低炭素社会を実現するための科学技術と政策に興味を持ち、調査研究を行っている。

火山噴火予知研究の現状と今後の課題

藤田 英輔
客員研究官

1 はじめに

日本は、太平洋プレートおよびフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込む場所に位置しており、環太平洋火山帯に属する世界有数の火山国である。活火山は世界的標準として「概ね過去1万年以内に噴火した火山および現在活発な噴気活動のある火山」と定義され、我が国には108個存在する(図表1)。火山は平穏時には農産物を育み、温泉をはじめとする観光資源を提供するなど数々のめぐみをもたらし、生活の糧を与えてくれる存在であるが、ひとたび噴火が発生すると一転して甚大な災害をもたらす。火山災害はいろいろな原因による複合災害であり、地震災害が特に震動によることとは対照的である(図表2)。

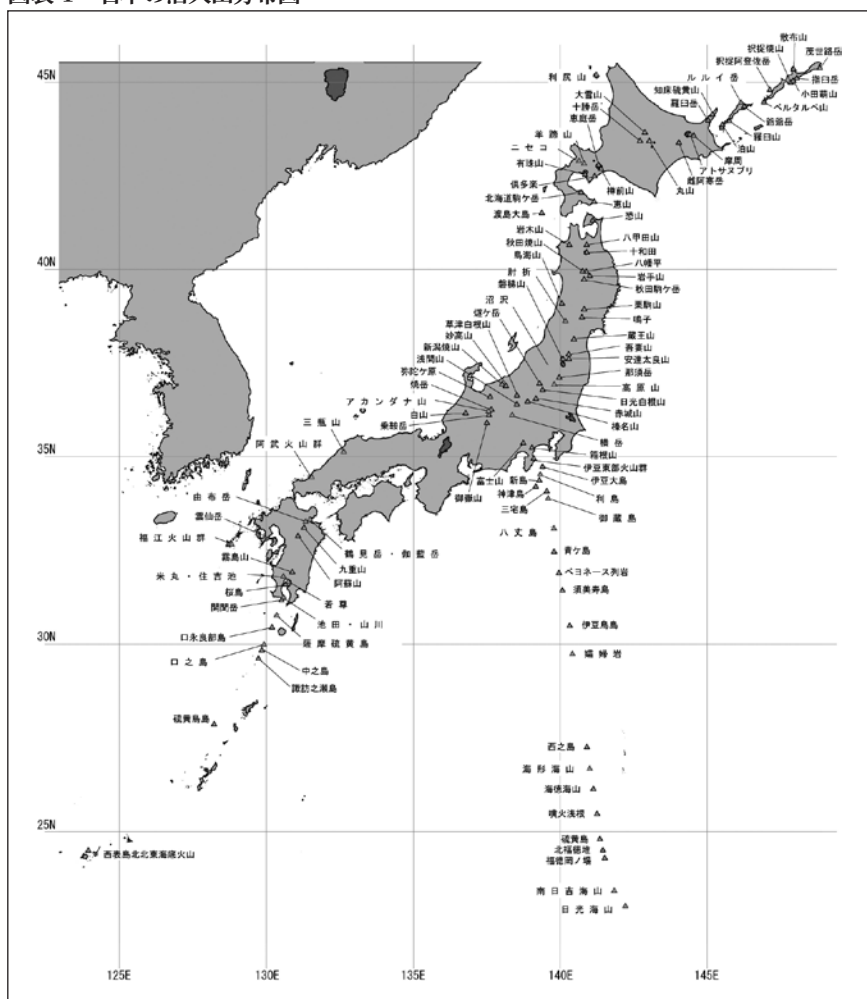
我が国における人的被害を伴う火山災害は、有史以来の記録に残るだけでも30回以上発生している。最大の被害は1792年雲仙普賢岳で、山体崩壊が引き起こした津波発生により約1万5千人の犠牲者があった。近年では、1991年に発生した同じ雲仙普賢岳での火砕流被害で43名の犠牲が出た。しかし、最近の火山災害は、江戸時代やそれ以前に比較して大規模な人的被害を伴うことが少なくなった。これは、1707年富士宝永、1783年浅間天明、1792年雲仙眉山崩壊のような大規模噴火がここ

数百年間発生していない幸運とともに、最近の火山観測網による異常検出とその際の避難等の対応が効果的に行われるようになった成果であると考えられる。

火山噴火予知は地震予知と比較すれば取り組みやすいと言える。

予知の5要素である「いつ・どこで・どのくらいの・どのような・いつまで」のうち、「どこで」については、特に活動の初期段階では、大局的には火山の空間的な位置が把握されている利点がある。「いつ」についても、火山活動はマグマの動き

図表1 日本の活火山分布図



参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

に伴うものであることから、噴火に先立ち火山性地震が発生するなどの前兆現象をとらえることにより、ある程度の把握ができる。近年では精密な観測により異常を検知し、「噴火が起こりそうだ」という情報を発信できるレベルにまで到達している。マグマの物性や火道の安定性などにも依存するが、基本的には数日～数時間前の予知が可能である。顕著な例としては、1986 年伊豆大島噴火、1989 年伊豆半島東方沖、2000 年有珠山噴火、2000 年三宅島噴火などにおいて、事前の群発地震や地殻変動が検知され、この情報が避難行動に活用された。1998 年岩手山では噴気や地震活動から噴火の可能性が指摘されたが結局噴火に至らない、いわば「噴火未遂」という貴重な経験をした。富士山でも、2000～2001 年に深部低周波地震活動が活発化し、噴火へは至らなかったものの、富士山の噴火が現実的にありうるということを認識し、防災対策の必要性を喚起する出来事となった。

しかし一方で、「いつ噴火が終わるか」については正確な情報を得る

図表 2 火山災害の分類

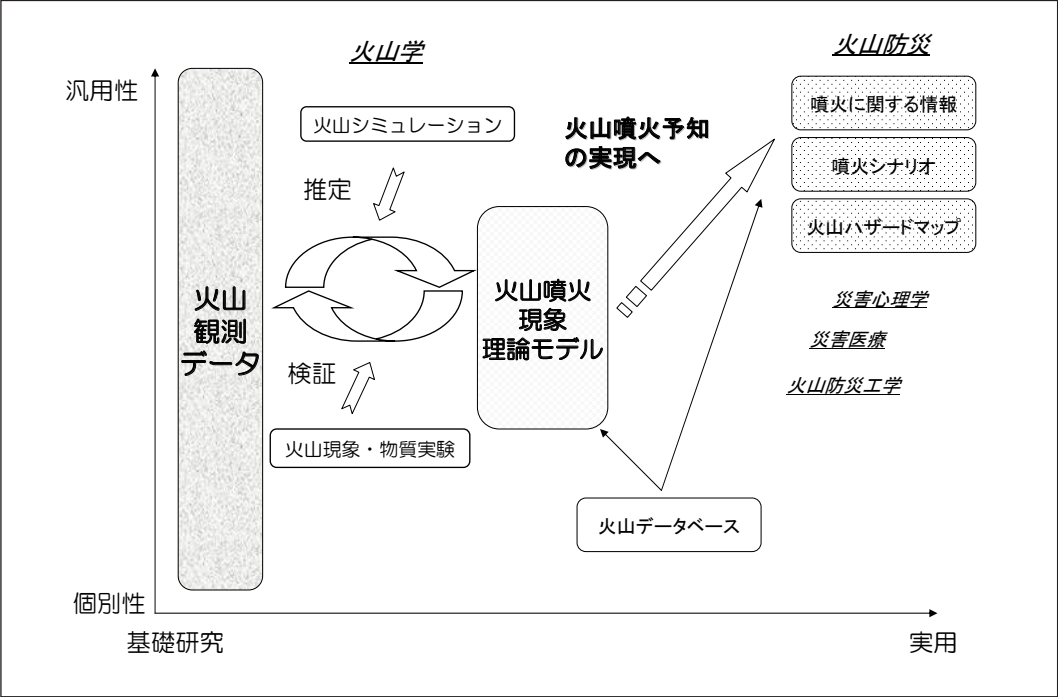
加害要因	火山活動
火山噴出物による直接的被害	●降灰・噴石 ●火砕流 ●溶岩流 ●ブラスト ●空振 ●火山ガス ●火山泥流（1 次ラハール）
火山活動に伴う地変現象による被害	●山体崩壊 ●地殻変動 ●火山性地震 ●地熱 ●津波
間接的被害	●泥流・土石流 ●斜面崩壊 ●地すべり（2 次ラハール）

科学技術動向研究センターにて作成

のが難しい。2000 年三宅島噴火では事前のマグマの動きを捉えたものの、2500 年ぶりのカルデラ形成、長期にわたる火山ガスの放出といったこれまでに世界的に観測事例がない現象を経験し、火山活動の推移予測が困難であった。この噴火から、火山噴火予知が過去

の経験則に大きく依存しているという事実が改めて浮き彫りになった。火山活動の根源であるマグマの活動について、深さ 10 キロより浅いマグマ溜りに関してはある程度の知見があるものの、それよりさらに深い、特に約 20km 以深の情報は得られていない。より深

図表 3 火山学と火山防災の概念



科学技術動向研究センターにて作成

部からのマグマ供給の仕組みが捉えられていないことが火山活動の推移予測を困難にしている。

火山噴火予知を実現するためには、火山噴火現象を精確に記載する理論モデルの構築が必要である。すべての基本となる火山観測によるデータと火山活動の理論モデルとを、相互にフィードバックをかけながら噴火のメカニズムを解明し、マグマ上昇から噴火にいたる現象を記載する、より正しい理論

モデルを構築する。その中では、実験やシミュレーションという技法も利用される。このように構築された理論モデルをもとに、火山噴火の将来予測が可能となり、その結果はじめて、噴火に関する情報提供などの火山防災への実用化へと発展する。また、火山防災の実現には、火山学のみならず、災害心理学・医療・社会学、火山防災工学的な側面も総合的に進展させる必要がある。

火山噴火予知研究は、自然のメカニズムを解明する学術的側面と、われわれの安全・安心な社会・生活に関連する火山防災への貢献という行政的側面の双方のフィードバックの上に進められている(図表3)。次章以後では、科学的な視点から火山噴火予知研究をまず議論し、この成果を実用化する火山防災のあり方について述べる。

2 我が国の火山噴火予知研究の推移

2-1

火山噴火予知研究とは

火山噴火予知研究の目標は、噴火予知の5要素である噴火の時期、場所、規模、様式および推移を予測することである。噴火予知研究の発展段階は大きく三つに分けられる²⁾。

●発展段階 1

火山の観測により、火山活動の異常が検出できる。

●発展段階 2

火山の観測と経験則により、異常の原因が推定できる。

●発展段階 3

火山現象を支配する物理法則が明らかにされており、観測結果を当てはめて、将来の予測ができる。

「噴火の時期」に着目すると、数万～数十万年の間での噴火履歴を対象としたものから、噴火直前を対象としたものなど、いろいろなタイムスケールが存在する。大まかには、長期予測(リスク評価)と直前予知に分けられる。

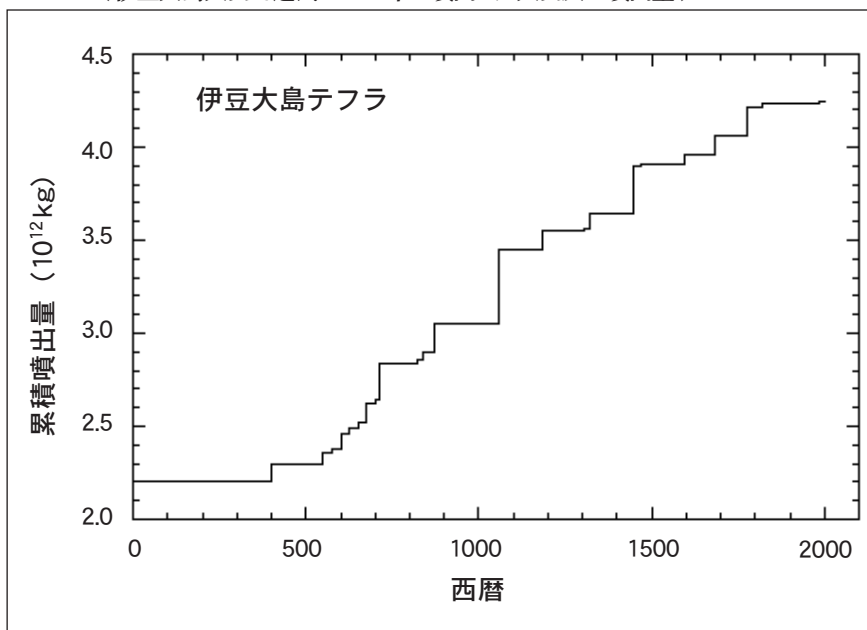
長期予測(リスク評価)は、土地

の利用計画や砂防ダムの建設など火山地域の長期的な生活基盤の安定と共存を目的とした評価である。原子力施設の設置や放射性物質の地層処分などのための評価も含まれる。この長期予測のために過去の噴火史を明らかにする必要があるが、そのために火山灰等の噴出物の分布調査、トレンチやボーリング調査による岩石資料等の分析などが実施される。その成果は、噴火履歴の階段ダイヤグラム(図表4)としてまとめられる。階段ダイヤ

グラムは横軸に時間、縦軸に積算の噴出量をとるもので、それぞれの火山活動の間隔や規模を評価できるものである。

一方、直前予知は火山観測データに基づいて判断される。火山観測では、地震・地殻変動・重力・磁力・電磁場などの物理観測、火山ガスや水などの化学観測などを連続で実施し、データを蓄積することが基本となる。これらのデータに平常時と異なる変動を検知した場合、総合的に評価して噴火の

図表4 噴火履歴の階段ダイヤグラムの例
(伊豆大島火山で過去2000年に噴出した火山灰の噴出量)



参考文献³⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

可能性を検討する。ただし、マグマの物性を含め、火山の個々の特性があり、共通・普遍的な法則は明らかになっていない。現実的には、過去の噴火や異常を参照するなど、経験的な事例にかなりの部分を依存して判断を行うことが多い。後に述べる「火山噴火予知連絡会」とは、基本的にこのような短・中期的な火山活動の評価を行うとともに、ひとたび噴火が発生した場合の活動推移予測をあらゆるデータに基づいて議論を行う場である。

2-2

我が国の火山噴火予知研究の歴史

我が国において火山観測が始まったのは、火山で発生する地震の観測が1888年に磐梯山で行われたのが最初である⁴⁾。この際は7月25日に発生した大噴火後に長期の地震観測を行った。したがって、「予知」というよりも活動把握を目的とした観測であった。その後、1910年の有珠山噴火に際し臨時地震観測が実施され、また同年の浅間山噴火では、日本初の常時地震観測が気象庁により行われた。その後、1912年焼岳、1914年桜島でも観測が実施された。気象庁による本格的な常時地震観測網の整備は、第二次世界大戦以前では、前記の浅間山のほか、阿蘇山(1931年)、伊豆大島(1939年)および三宅島(1943年)に限られた。戦後になって、有珠山・吾妻山(1950年)、樽前山・桜島(1951年)、雌阿寒岳(1956年)、十勝岳・北海道駒ヶ岳・雲仙岳・那須岳・霧島山(1959年)で観測が行われた。現在では、常時監視火山は34にのぼっている。

一方、大学の火山観測の開始は、1933年の東京大学地震研究所浅間山火山観測所の設置である。こ

では火山性地震の分類や頻度についての知見が得られ、世界的に見ても、初期の火山観測に大きな道筋を与えた。その後、京都大学(阿蘇・桜島など)、九州大学(雲仙普賢岳など)、東京工業大学(草津白根山)、東北大学(東北地方の火山)、北海道大学(有珠山など北海道の火山)に広まった。

その後(独)防災科学技術研究所(硫黄島・富士山など)、国土地理院(地殻変動観測など)でも火山噴火予知を目的とした火山観測が実施されてきている。このように、我が国では火山観測に対して単独の組織が一括して実施するのではなく、気象庁の観測網を大学や研究機関の観測網および知見により補填して行うという歴史をたどってきた。

2-3

我が国の噴火予知計画

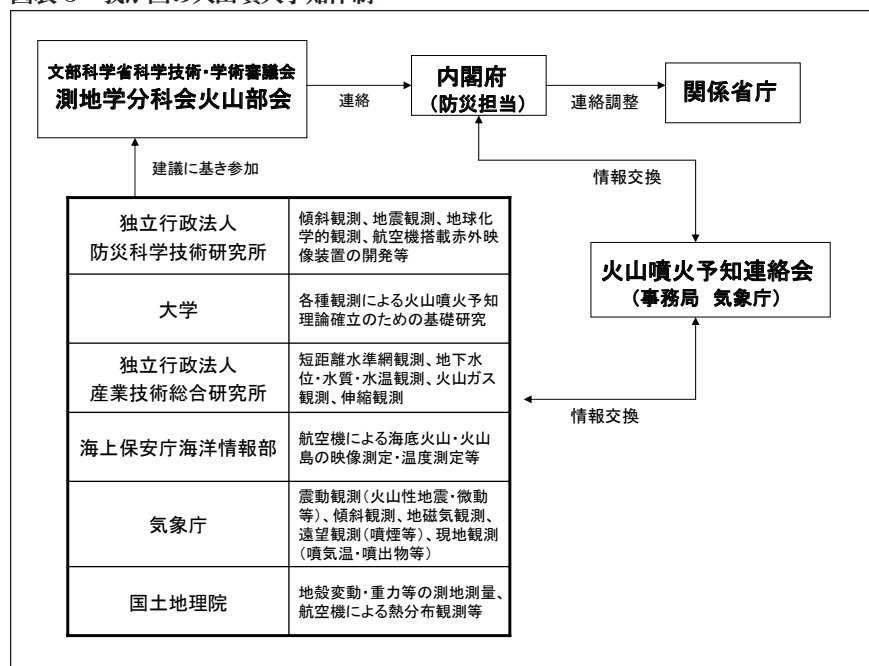
我が国で、国としての火山噴火予知の指針は測地学審議会火山部会により作成され、これに基づき実施されている。初めて指針が具

体的にまとまったのは、1973年である⁴⁾。1973年6月29日に第1次の噴火予知計画である「火山噴火予知計画の推進について」(建議)が測地学審議会地震火山部会より提出され、これに基づいて1974年6月20日に気象庁を事務局とし、気象庁長官の私的諮問機関である「火山噴火予知連絡会」(以下「噴火予知連」と略記する)が発足した。噴火予知連の設置により、火山活動に関する情報交換、大噴火時の措置等関係機関の協力体制が整備された(図表5)。

火山噴火予知計画は、その後、5カ年計画として、第7次まで策定・実施されてきた。それぞれの噴火予知計画の概要を図表6に示す。各火山噴火予知計画の策定に当たっては、関係各機関の連携により、現状の把握と将来の方向性を鑑みて議論が行われている。

第1次計画では火山噴火予知研究の体制としての噴火予知連の設立、第2次計画では対象火山の分類と体制の整備強化に焦点が置かれた。第3次から第4次にかけては観測体制の充実化が図られ、これにより火山活動の異常検出のためのバックグラウンド状態が把握で

図表5 我が国の火山噴火予知体制



参考文献⁵⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 6 火山噴火予知計画の歴史

第 1 次（1974 ～ 1978）	<ul style="list-style-type: none"> ●有珠山に火山観測所が新設 ●桜島等の特定火山を対象とする集中総合観測班が年次的に実施 ●火山噴火予知連絡会の設置
第 2 次（1979 ～ 1983）	<ul style="list-style-type: none"> ●対象火山を「特に活動的な火山」と「その他の火山」に分類 ●予知手法の開発、基礎研究の推進および火山噴火予知体制の強化
第 3 次（1984 ～ 1988）	<ul style="list-style-type: none"> ●火山の特性を踏まえたきめの細かい観測研究の拡充強化 ●予知手法等の開発、火山噴火機構の基礎的研究等を推進
第 4 次（1989 ～ 1993）	<ul style="list-style-type: none"> ●観測の多項目化・高密度化・高精度化 ●噴火直前の前兆現象を即時認知するシステムの開発およびマグマの動的過程を的確に把握するための基礎的研究を推進
第 5 次（1994 ～ 1998）	<ul style="list-style-type: none"> ●マグマの把握を目指して、火山体の構造把握のための観測研究を実施 ●マグマの活動や噴火現象に関連した幅広い基礎研究と新しい予知手法の開発を推進
第 6 次（1999 ～ 2003）	<ul style="list-style-type: none"> ●関係機関の連携を強化することによる火山観測データの一層の有効利用 ●地下のマグマの状態や運動を捉える新しい観測の実施 ●火山活動に関与する火山流体の性質と挙動の解明、噴火過程や爆発機構の解明に向けた基礎研究 ●噴火史に関するデータの蓄積など、噴火ポテンシャル評価についての基礎研究 ●新たに重点的に観測研究を行う活火山の整理検討
第 7 次（2004 ～ 2008）	<ul style="list-style-type: none"> ●すべての活動火山の活動度を定量的に把握することを長期的目標として、必要な監視観測の強化や常時観測体制を整備 ●マグマ供給系や噴火発生場の構造解明とその時間変化を把握 ●噴火発生機構の定量的理解に基づいた噴火の物理化学モデルを構築

参考文献^{4, 6, 7)}を基に科学技術動向研究センターにて作成

きるようになり、各火山の活動評価が徐々に可能となってきた。特に、桜島、伊豆大島などでは噴火の直前現象の把握が進むとともに、マグマ供給系やその挙動が解明された。また、高密度、多項目、高精度の監視観測体制が整備された有珠山、浅間山、三宅島などの火山では、火山活動の的確な評価や噴火発生の予測が可能な段階に達しつつあることが示された。

第 4 次計画までの成果で異常検出の把握についての知見が得られた後、その次の段階として、第 5 次計画では、火山の地下がどのような構造になっているか、マグマについて、どの程度の深さに、どのような量が、どのような状態で存在しているかといった、マグマ供給システム解明の研究に重点がおかれた。特に雲仙岳、霧島では人工地震による構造探査が精力的に実施され、詳細な地震波速度構造が明らかになった。

第 6 次計画では、期間内に発生した有珠山噴火・三宅島噴火の際に、

噴火予知計画の発足以来推進されてきた観測網整備や予知手法の開発の有効性が改めて示された。しかし同時に、さらに解決すべき課題、つまり、噴火開始後の推移予測の困難さを認識することにもなった。関連機関の連携に基づく火山観測では、高品位の観測データが基礎研究のみならず、全島避難へと至った三宅島の火山活動把握といった防災対策にも有効であった。火山噴火予知高度化のための基礎研究の推進という点では、岩手山での実験観測により 3 次元的な構造やダイナミックなマグマの活動の把握に知見を得ている。また、マグマからの脱ガス機構に関する物質科学的研究においては、噴火のメカニズムを解明するための理論研究に少しずつ進展が見られた。火山噴火予知体制の整備という点では、研究と観測の継続と推進のため大学における関連研究施設の整備が進められ、気象庁においても火山監視・情報センターの整備など組織整備が一段と進展した。

現在実施されている第 7 次計画は、実施状況の中間レビューが 2007 年 1 月にとりまとめられた⁸⁾。それによると、火山観測研究では、国土地理院によって全国展開された GPS を用いた電子基準点により、リアルタイム的な地殻変動解析のめどがほぼ立ちつつある。2004 年に噴火した浅間山では、広帯域地震計・傾斜計・GPS・重力・火山ガスなどの多項目観測網により、噴火に至る長期的な活動変化や噴火直前の前駆的変動の把握に成功し、実用的な噴火予知へ向けた成果が上がった。また、地震波速度構造と電気比抵抗構造の総合的な解釈によるマグマ供給系の理解、組織的な地質調査、系統的な岩石の化学分析や年代測定により噴火ポテンシャル評価の基礎が徐々に確立されていると評価されている。

特に第 6 ～ 7 次計画においては、リモートセンシング技術の進展により、火山学にも顕著な発展がもたらされたことが注目される。国土地理院による GPS 観測網“GEONET”

の整備や、衛星“だいち”のSAR技術により地殻変動を面的に把握することが容易になった⁹⁾。また、宇宙線ミュオンによる火山体内部の透過像撮影手法も開発され、火山体浅部のマグマシステムのイメージングが進んだ¹⁰⁾。ただし、これは、厚さ1.5km以上の土砂がある場合には透視が不可能なため、火口直下のごく浅い部分のイメージングに限られる。

2-4

学術的大型プロジェクト

火山噴火予知計画を踏まえて平行して行われている基礎研究の大型のプロジェクトからも、特に重要な知見が得られている。近年実施された大型プロジェクトとして、ここでは2例を紹介する。これらの成果は直ちに噴火予知の実用化へ応用できるものではないが、火山噴火のメカニズムを解明することにより、噴火のポテンシャル評価を含めた火山噴火予知に資するはずである。

①「富士火山の活動の総合的研究と情報の高度化」(文部科学省科学技術調整費先導的研究、2001～2004年度、代表研究者 藤井敏嗣)¹¹⁾

2000年に活発化した富士山の深部低周波地震活動を受け、富士山

の将来的な火山活動の活発化に備え、噴火履歴の把握と現状の把握を目的として3つのサブテーマで実施された。「低周波地震とマグマ蓄積過程の研究」では、高品位の地震・地殻変動・地電位観測により、低周波地震の震源が山頂火口北東方向の地下15km程度の深さに北西－南東方向に並んでいること、深さ30km付近に低比抵抗域が存在すること、また、火山活動にともなう顕著な地殻変動がないことなどが明らかにされた。「噴火履歴の研究」では、地表調査、トレンチ調査、掘削調査により富士山の噴出物の解析を実施し、マグマ供給システムの時代変遷が解釈された。これらにより、富士山は3つの火山により構成されるという通説が覆され、4つの火山からなることが明らかにされた。

「情報の高度化の研究」では、1707年宝永噴火の大量降灰を想定した場合の社会的被害、火山情報の発信、避難体制についての知見を取得し、科学者と住民との関わり方についても重要な方向性が打ち出された。

②「火山爆発のダイナミクス」(文部科学省科学研究費特定領域研究、2002～2006年度、領域代表者 井田喜明)¹²⁾

火山噴火予知のためには、“爆発”現象のメカニズムを解明する必要がある、欧米で先駆的な研究が進められているが、我が国では初

めて文科省科研費特定領域研究「火山爆発のダイナミクス」が実施された。このプロジェクトには全国の約80名の研究者が参画し、これまで観測・分析などの手法に偏っていた火山噴火予知研究に対して、爆発現象そのものを観測・モデリング・実験の3つのアプローチを連携させて解明を行うことを目指した。火山が噴火に至るまでには、まず、マグマが地下に蓄えられ、爆発のエネルギーを保持する発生場が形成される。発生場にはマグマや熱水の溜まりに加え、それらを取り囲む岩石が含まれる。発生場で爆発の準備が整うと、マグマの上昇や熱水の加熱が始まり、遂にはマグマ爆発や水蒸気爆発などの火山爆発が起こる。その結果、地表には噴煙や火砕流などの現象が現われ、火山災害が発生する。このプロジェクトは「発生場」、「準備過程」、「メカニズム」、「地表現象」と「火山災害」の5つの研究項目から成り、活火山の観測のために、ロボット車やドップラーレーダーなどを用いた新しい装置も開発された。また、火山物質特有の性質を取り入れた数値解析コードが開発され、マグマと気泡の混相流の物理にも新しい知見が得られた。さらに、マグマの発泡や爆発・衝撃波管実験によって噴火の素過程も明らかになった。これらの成果は世界的にも先駆的なものとして評価されている。

3 2009～2013年度の「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」²⁾

3-1

地震予知と火山噴火との一本化

従来推進されてきた地震予知計

画と火山噴火予知計画は、2009年度より一本化され、新たに「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」²⁾として実施される予定である。「地震及び火山噴火は、同じ地球科学的背景を持った自然現象であり、測地学的・地震学的手法に

よる共同での観測研究はそれぞれの現象理解に有効」、「世界に類を見ない稠密(ちゅうみつ)な地震・地殻変動の観測網などの研究資源を地震現象と火山現象の観測研究に有効活用することにより、効率的で効果的な研究を実施」との視点

から、地震予知と火山噴火予知の連携が図られる。

3-2

2009年度からの 火山噴火予知研究

これまでの火山噴火予知計画およびそれに基づき推進された基礎研究により、活動的な火山については一定の観測網が整備され、火山活動の異常の検知と情報発信が可能な状況となってきた。しかし、現在の火山噴火予知はこの「噴火しそう(時期)」「このあたりに噴火口ができそう(場所)」というレベルにとどまっていて、「どの程度の規模になるのか? (規模)」「爆発的になるのか、非爆発的になるのか? (様式)」「いつまで継続するのか? (推移)」といった疑問に答えることができない。2-1 に述べた噴火予知の段階1～3 (2-1 参照)のうち、現在、観測が実施されている火山の多くは段階1にある。活動的で数多くの噴火履歴があり、多項目観測や各種調査が実施されている幾つかの火山でも段階2にとどまっていると考えられる。本質的な火山噴火予知は段階3を実現することにある。このような現状認識のもと、2009年度からの計画では、次の方向性が示されている。

- 火山監視観測網の強化および火山噴火の可能性の高い地域におけるモニタリングの重点的な強化

- 火山活動の現状を評価し、予測される噴火の前兆現象や活動推移を網羅した噴火シナリオの作成
- 基礎研究の推進によって得られるモデルや噴火シナリオにモニタリング結果を統合し、火山活動の定量的評価を行う予測システム

これらの項目から、次の計画における研究開発のキーワードとなるのは「火山監視観測網の強化」、「噴火シナリオの作成」、「噴火機構モデルの確立」そして、最終的には、「噴火予測システムの構築」である。

「火山監視観測網の強化」はこれまで着実に進んできたが、気象庁が連続観測を実施している火山は我が国の108活火山のうちいまだ30余の火山にとどまっている。より吟味したうえで対象火山を選定し、噴火前兆現象把握のための安定した長期的な連続観測を多くの項目(地震・地殻変動・火山ガス・電磁場・重力・映像・気圧など)で行い、より高品位なデータを蓄積する必要がある。特に火山地域では火山砕屑物による信号の減衰が大きいため、観測井による稠密観測が効果的である。

「噴火シナリオの作成」については、それぞれの個別の火山において将来的にどのような噴火が想定されるか、主に過去の実績に基づきまとめるもので、噴火の前兆から終息に至るまでの時間変化や、発生可能性の高い火山災害現象と災害がおよぶ範囲などを予め示すものである。火山周辺での砂防などの長期的

なリスク管理や、いざ噴火が発生した際の対処方法の指針となることを想定している。

噴火メカニズムの視点からは、高品位なデータに基づき、物理学的視点・岩石学的視点・化学的視点を総合して噴火現象を支配する法則を導き出すという「噴火機構モデルの確立」が目標である。火山は、固体・液体・気体というマルチフェーズで、マグマ中の気泡の挙動といったミクロから、災害をもたらす溶岩流や、噴煙といったマクロまでのマルチスケールにわたる極めて複雑な系である。すなわち「噴火機構モデルの確立」とは、マグマが地下からどのように上昇し、どのように噴火に至るかを記述するモデルを作ることである。定性的なイメージとしては、マグマの上昇に伴い、マグマ自体が減圧されるためにマグマ中の気泡の膨張が加速され、マグマの破碎、さらには爆発へと至る。マグマ中のガス成分が少ない場合には溶岩流等の非爆発的な噴火となる。このような定性的なイメージではなく、定量的に観測データから地下の様子、特に噴火の直前の火道内の圧力・温度などの物理状態を推測するための理論モデルの構築が必要である。

上記のような基礎研究の推進による「噴火機構モデルの確立」、「噴火シナリオの作成」、さらには「火山監視観測網の強化」により得られる高品位データを連結し、火山活動の定量的評価を行い、その後の火山活動の予測を可能にする「噴火予測システムの構築」を目指す必要がある。

4 国際連携と海外の火山噴火予知研究

火山噴火予知への取り組みは、国際的な連携のもとでも行われている。世界の火山国での観測データや知見の共有は、我が国の火山噴火予知技術の向上にも多大な貢献

がある。一方、我が国の火山観測を中心とした火山噴火予知技術は、東南アジアや南米の火山国への国際貢献としても導入され、成果をあげている。

火山の噴火現象そのものは個々の火山の特性に依存するものが多い。災害を伴うような噴火が単独火山で継続的に発生することは少ない。さらには、我々人間一

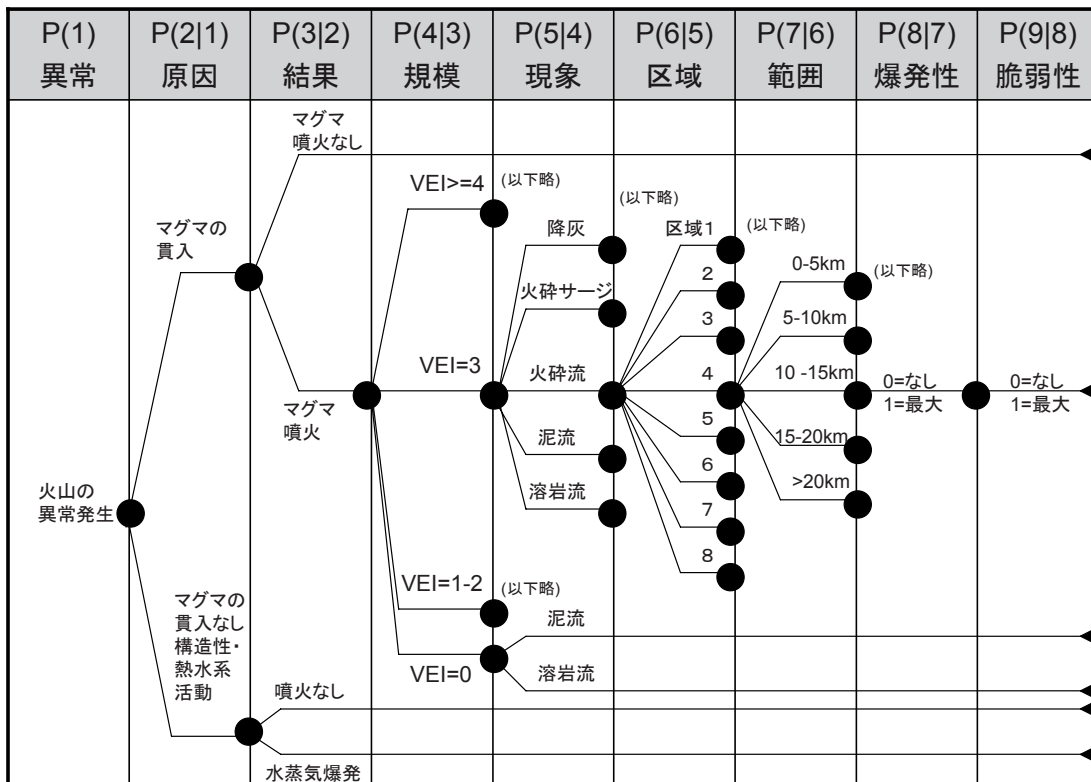
個人の一生のタイムスパンの中で複数の噴火事例を経験することはめったにない。このようなことから、火山噴火に関する観測点情報、観測データ、特に異常検出の事例などについては、知見の共有が重要である。したがって、世界の火山研究機関、観測機関などがデータを持ち寄り、知見を共有しようという構想である WOVO (World Organization of Volcano Observatories) が、IAVCEI (国際火山学及び地球内部化学協会) のコミッションとして進められて

いる¹³⁾。特に観測データに関しては、WOVO の下部組織である WOVOdat プロジェクトにおいて、共有データベースの設計が進められている¹⁴⁾。WOVOdat では、加盟機関が共通のフォーマットを用いてデータを集約し、相互参照により連携を図ることを目的に、データベース設計が進められている¹⁵⁾。

我が国ではあまり行われていない、欧米での先駆的な取り組みの1つに、噴火事象を確率的現象として評価し、各噴火災害事象発

生の確率を算出するといった手法がある¹⁶⁾。図表1で示したように火山噴火は多岐にわたっているが、これらの現象を総括的に可能性、規模、分岐としてまとめたものをイベントツリーと呼んでいる(図表7)。このイベントツリーの各ノードにおいて、次にどちらの分岐へ現象が進行して行くかについて、確率的に噴火の可能性評価を行う。確率の算定方法はまだ研究途上の段階であるが、長期評価・短期評価のいずれにも適用することが目指されている。

図表7 火山噴火のイベントツリーの例



参考文献¹⁷⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

5 火山防災行政の仕組み

5-1

我が国の 火山防災行政のしくみ

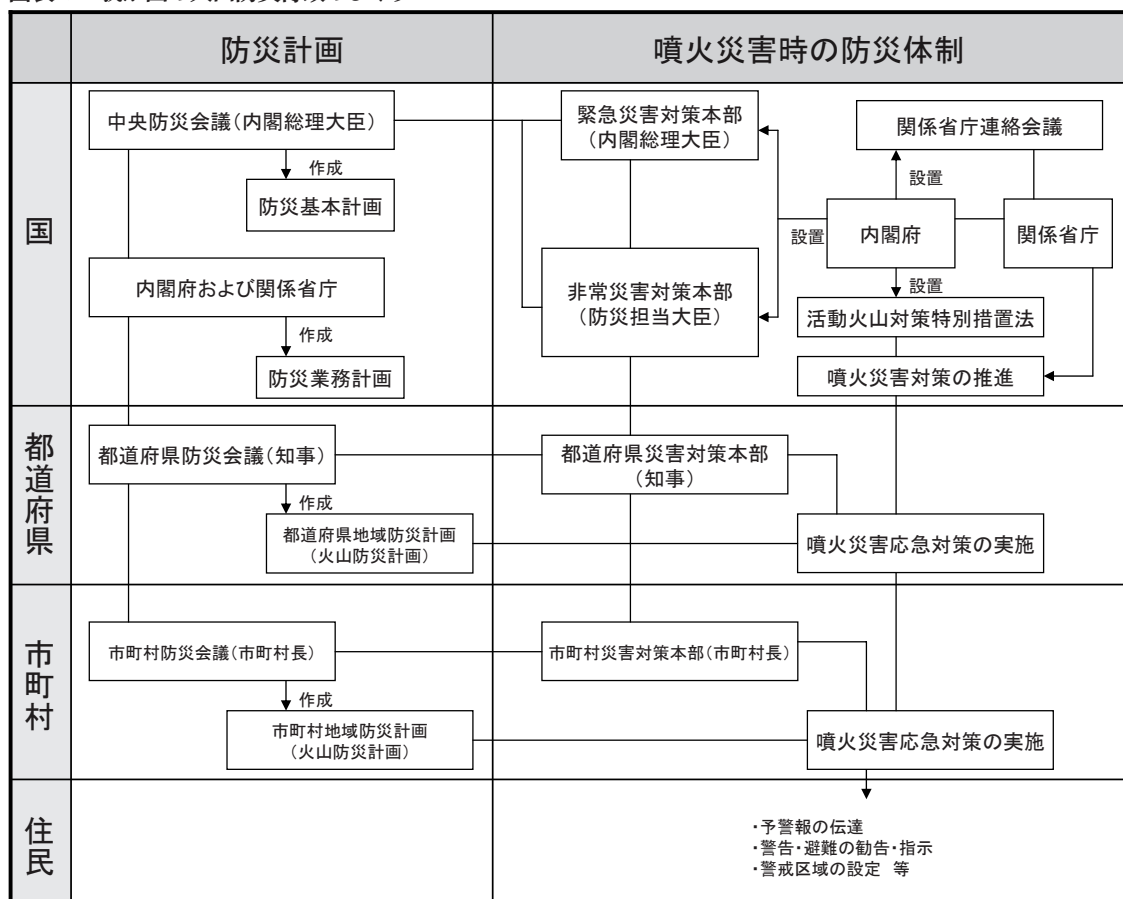
火山噴火予知研究の成果は、火山防災行政へと適用される。ここ

では、火山噴火予知研究の社会的意義の側面から、火山防災行政の概要に触れておく。

基本的に、他の自然災害同様、火山災害についても各自治体の首長がその行政判断を行う。各自治体では「防災基本計画」を策定し、これに基づき火山災害発災時の避

難や物資供給、復興などの行政対応を行う。市町村で対応できない広域にわたる災害となった場合には都道府県、さらには国レベルの対応となる。国レベルでは、内閣府(防災担当)が取りまとめを担当し、関係省庁の連携を図る構図となっている(図表8)。このような

図表 8 我が国の火山防災行政のしくみ



参考文献⁵⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

火山防災行政が火山噴火予知研究に期待するのは、火山噴火の可能性や活動の予測について、確実によりわかりやすい情報を提供することであることは言うまでもない。

5-2

火山防災ハザードマップ

地域防災計画の一部として、近年、整備が進んでいるのが、火山防災ハザードマップの作成である。火山防災ハザードマップとは、想定される噴火などの火山活動により被害のおよぶ範囲や、避難場所、避難路などの防災情報を示した地図であり、防災対策の基礎となるものである(図表 9)。各自治体や周辺自治体の集まりである協議会等が主体となり、各種事象のシミュレーション等を踏まえてのハザードマップを作成し、これを配布す

ることにより住民への情報提供が行われている。このようなハザードマップが整備されているのは、国内の 37 火山であり、これらについては(独)防災科学技術研究所のホームページからオンラインで見ることができる¹⁸⁾。

2000 年有珠山噴火の際には事前に住民や防災機関に火山防災ハザードマップが周知されていたため、住民避難が円滑に行われた。

富士山では 2000 年 10 月から 2001 年 5 月にかけて、深さ約 10 ～ 15km を震源とする深部低周波地震の活発化から、約 300 年ぶりの噴火が懸念された。しかし、震源の深さの変化や地殻変動の異常等は検出されなかったことから、噴火予知連はすぐに噴火に至ることはないとの判断をした。しかしこのことにより、富士山が活火山であることが再認識され、首都圏はじめ日本の大動脈である東海地域への直接的な火山災害影響の評

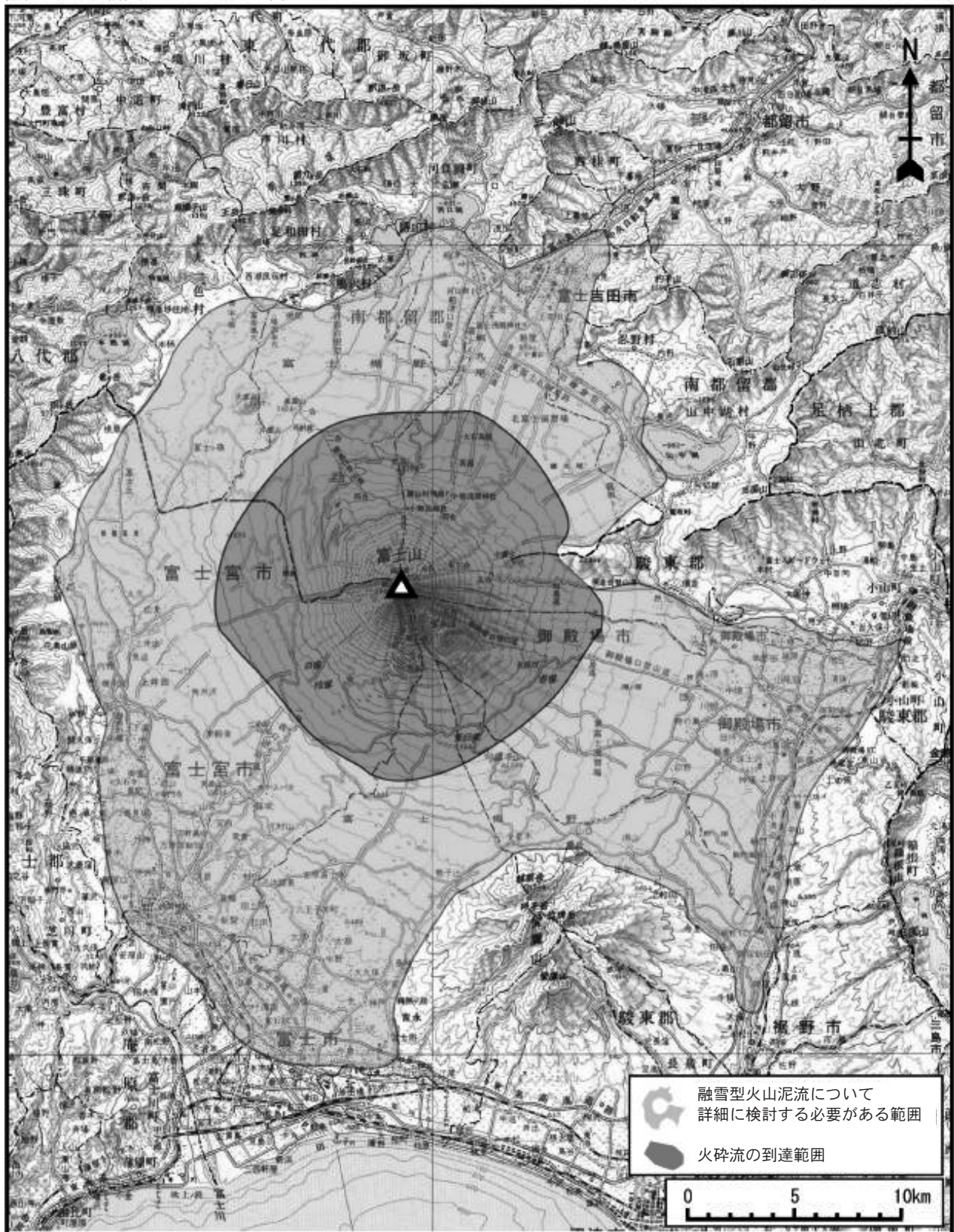
価と対策を採る必要性が示された。これに対応する形で、内閣府の指揮のもと、国と地元の地方公共団体等による富士山ハザードマップ検討委員会(現 富士山火山防災協議会)が設置された。2004 年 6 月には報告書がとりまとめられた¹⁹⁾。

5-3

噴火警報と噴火警戒レベル

気象庁は、2007 年 12 月から火山現象について予報および警報を出すことになり、これ以後、20 個の火山に噴火警戒レベルが導入された(図表 10)。それまでは、天気予報の注意報・予報にあたる「臨時火山情報・緊急火山情報」という火山活動そのものに関する情報提供が行われていた。これに対し、気象業務法の改正(2007 年 12 月 1 日)は、噴火の危険性に加

図表9 火山防災ハザードマップの例



(濃いグレー部分が火砕流の到達範囲、薄いグレー部分が融雪型泥流の到達範囲を示す)

出典：参考文献¹⁹⁾

え、想定火口から居住地までの距離等を考慮して噴火時等の影響範囲ととるべき防災対応を明確化した。危険性の各レベルには、「避難」「避難準備」「入山規制」といった

キーワードが設定されている。ただし、この噴火警報・噴火警戒レベルも、その情報を判断・提供するための観測体制や評価方法については、まだ試行錯誤の段階であ

り、先駆的ではあるが、見切り発車的とも言える。今後の精度向上が待たれる。

図表 10 気象庁から発表される噴火警報と噴火警戒レベル

予報警報の略称	対象範囲	レベルとキーワード	説明		
			火山活動の状況	住民等の行動	登山者・入山者への対応
噴火警報	居住地域	レベル5 避難	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは切迫している状態にある。	危険な居住地域からの非難等が必要(状況に応じて対象地域や方法を判断)。	
		レベル4 避難準備	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生すると予想される(可能性が高まっている)。	警戒が必要な居住地域での避難の準備、災害時要援護者の避難等が必要(状況に応じて対象地域を判断)。	
火口周辺警報	火口から居住地域近くまで	レベル3 入山規制	居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす(この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ)噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	通常の生活(今後の火山活動の推移に注意。入山規制)。状況に応じて災害時要援護者の避難準備等。	登山禁止・入山規制等、危険な地域への立入規制等(状況に応じて規制範囲を判断)。
	火口周辺	レベル2 火口周辺規制	火口周辺に影響を及ぼす(この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ)噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	通常の生活	火口周辺への立入規制等(状況に応じて火口周辺の規制範囲を判断)。
噴火予報	火口内等	レベル1 平常	火山活動は静穏。火山活動の状態によって、火口内で火山灰の噴出等が見られる(この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ)。		特になし(状況に応じて火口内への立入規制等)。

出典：参考文献²⁰⁾

6 今後の火山噴火予知研究と火山防災行政の課題と提言

これまで35年にわたって進められてきた火山噴火予知計画は3-1に述べたように、方向転換の時期を迎え、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」という地震予知計画と足並みを揃えたものへと組み替えられる。火山活動は地震活動と密接に関連するものであるため、地震分野、火山分野双方で得られた知見を相互に活用していくという視点で効果があがるものと期待される。中央防災会議は、気象庁が発表する噴火予報などの火山情報を防災対策の基点として明確に位置づけており、火山情報に適応した防災対策の検討を行っている。このことは、より高

度で正確な火山情報の重要性が増していることを意味する。

しかし現実には、次の2つの大きな問題点が残されている。

- ①火山噴火予知研究は原理的な噴火メカニズムの解明について発展途上過程の分野であり、予知の精度には幅がある。
- ②観測体制が脆弱で、予報の責任機関である気象庁の観測網だけでは信頼性の高い活動把握ができず、またこれまで協力を得てきた大学の観測維持が危機に瀕している。

本章ではこれらの問題点の背景

を踏まえたうえで、今後進むべき方向性について提言する。

6-1

火山噴火予知を実現する効率的な観測体制

火山観測には、地震・地殻変動だけでなく、電磁場、重力、火山ガス、可視画像等の多項目の連続観測が必要である。これらを合わせて整備し、高品位データを蓄積することが異常検出の基本であり、火山噴火予知実現への正攻法である。

一方、火山観測体制について、文部科学省は火山噴火予知研究の基盤となってきた全国の国立大学の火山観測網における重点観測対象火山について、2009年から、34火山から噴火の可能性のある26火山へと大幅に減少させる方針を示している²¹⁾。一方、国立大学法人では、法人化に伴い研究予算および職員が削減され、老朽化した火山観測機器の更新や火山観測施設の維持が出来ない状況となっておりところがある^{22, 23)}。削減される観測網が廃止されると、これらの噴火の前兆をとらえるための異常の検出が出来ず、最も重要な火山災害リスクの把握ができなくなる懸念がある。

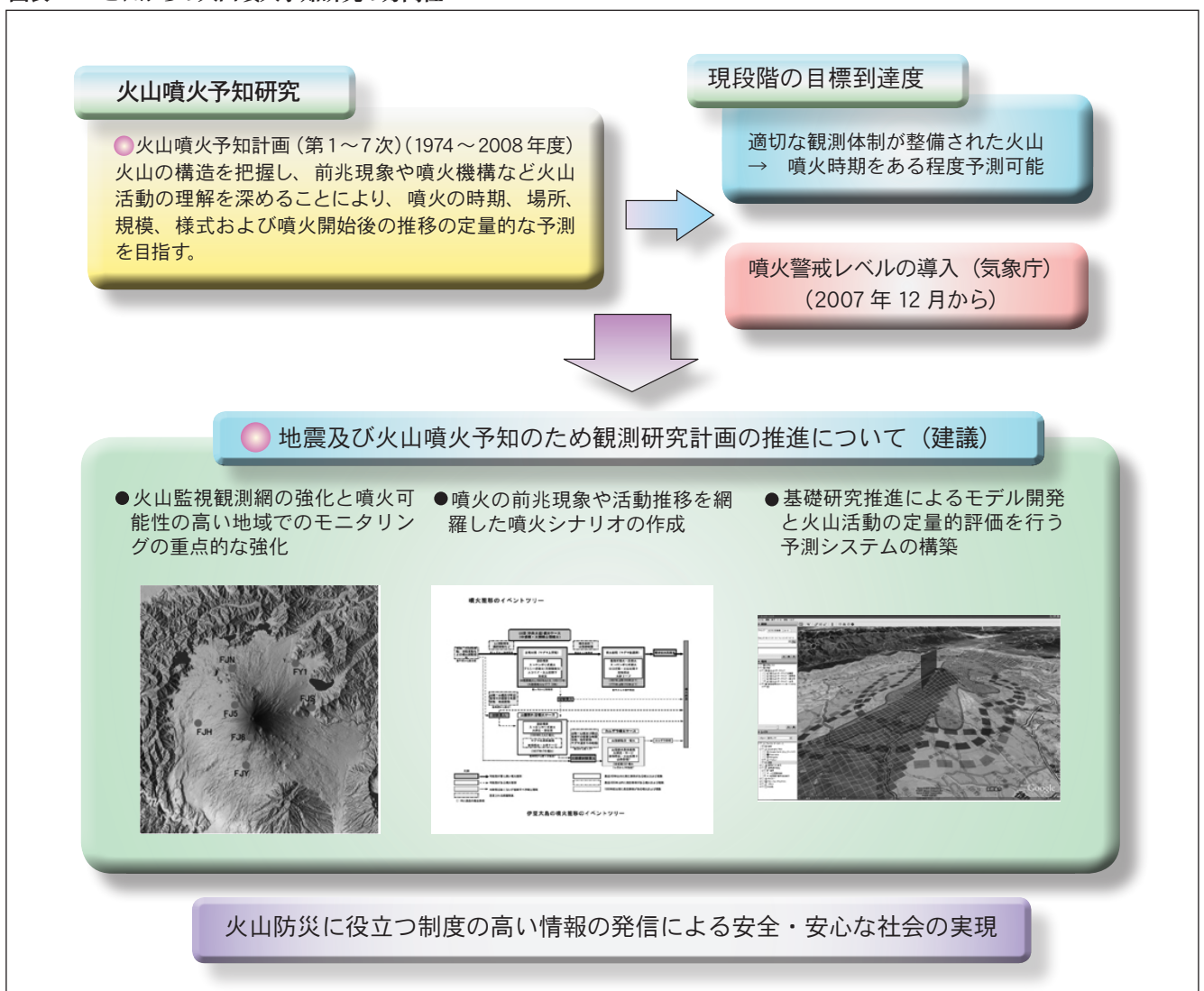
5章で述べたように、気象庁が

導入した噴火警戒レベルは、避難などの具体的な火山防災指針に関する情報を提供するものであり、十分なデータと解釈による信憑性の高い情報である必要がある。しかし、この情報の裏づけとなる観測データは、国立大学法人の観測網にかなりの部分を依存している。気象庁のみの観測体制では質の低下を招く可能性も否定できない。また、これまで国立大学法人はそれぞれの火山地域において地元自治体や住民との密接な関係を築き上げ、火山活動の情報共有や活用において、経験と蓄積がある。国立大学法人の観測体制の削減は、一部の現場ベースの密接な連携を減退させてしまう可能性がある。このように「地震及び火山噴火予知

のための観測研究計画」では火山噴火予知の基礎となる観測の重要性を謳っているものの、現実には観測体制を縮小せざるを得ないというジレンマに陥っている。

このような状況の中、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」で示された方向性に沿って、全体的な規模縮小による弊害を最小限にすべく、今まで以上に効果的に火山噴火予知研究を推進する必要がある。これをまとめたものを図表 11 に示す。火山監視観測網の強化という点では、恒久的に稠密で多項目の火山基盤観測網の整備と運用を実現するために、これまでの地震調査研究で整備された、GPS 観測網である国土地理院の GEONET、微小地震の基盤観

図表 11 これからの火山噴火予知研究の方向性



参考文献^{2, 24)}を基に科学技術動向研究センターにて作成

測網である(独)防災科学技術研究所のHi-net等のデータ送信系を十分に活用するなど、既存のインフラを最大限に有効に利用することが必要である。これらの利用により、火山周辺で6～10観測点をサテライト的に整備することができ、また、老朽化した大学の観測施設も基盤観測網化の可否を見直し、これらも含めて基盤的観測網として全体設計することが必要と思われる。

6-2

噴火モデル・噴火シナリオの構築

噴火メカニズムを物理的に解明し「噴火モデル」を作るという基礎研究が、本質的に、火山噴火予知のための手段となる。特に、地下からマグマが上昇し噴出から爆発に至るまでのメカニズムについては、マグマ中に含まれるガス成分の挙動、破碎のしくみなどの過程を室内実験やシミュレーションで調べ、基盤的観測網からの高品位データを合わせて検証することにより、精度の高い理論モデルが構築できるであろう。

また、火山防災に直接的に寄与するために作成される「噴火シナリオ」の作成は、火山噴火現象のイベントツリー(図表7)に、時間的推

移の概念も取り込んだものになれば、特に緊急対応のための情報として有効である。シナリオ作成の実現には、ボーリング・トレンチ等の地質学的手法と、溶岩流・火砕流・噴煙等のシミュレーション技術の高度化が鍵となる。基盤的観測網からのデータ、噴火モデル、噴火シナリオといったパーツの組み立てにより、最終的に信頼性の高い「噴火予測システムの構築」が可能となる。欧米で試みられている確率的手法も取り込み、また国際的に共有される異常事象のデータベースも適用することにより、より精度が高い噴火シナリオの実現を目指すべきと考える。

6-3

高精度かつ有用な火山防災情報の提供

気象庁により開始された「噴火警報および噴火警戒レベル」の発信により、火山活動の情報だけではなく、避難行動等の具体的な火山防災情報が提供されるようになった。これは、基礎研究が火山防災に直結する先駆的な試みである。しかし、原理的に火山噴火予知技術が万全ではない時点での導入であるため、現段階での情報には正確さの点で限界があることを十分に認識し、情報利用する必要がある。

また、今後、基礎研究の継続、および観測体制の強化などにより、この情報の精度向上を高めるための努力が不可欠である。一方で、火山周辺に暮らす住民の暮らしの安全と安心を守るため、健康被害に関する情報提供、噴火被災や避難生活に対するメンタルケアなどとともに、今後は、ペットや家畜等の避難といったよりきめ細かい配慮も実現する必要があると思われる。

火山噴火は自然災害の中でも特に複雑な現象であり、ひとたび発生すると噴火の規模によるが、噴煙・降灰など遠隔地でも多大な被害をもたらすことがあり、巨大規模となると地球全域にわたる影響を及ぼすものである。特に火山との共存が必要である我が国では、国民生活の安全・安心のために、長期的に火山リスク評価を行うとともに、短期的な火山噴火予知についても、より精度が高く信頼できる情報を適確かつ迅速に実現することが至上命題であると考えられる。

謝辞

本稿の執筆にあたり、火山噴火予知連絡会会長の東京大学地震研究所 藤井敏嗣教授、独立行政法人防災科学技術研究所 鶴川元雄火山防災研究部長には貴重なご意見を多数頂戴いたしました。この場を借りて、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ：<http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/volcano.html>
- 2) 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について(建議)」について：
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/07/08071504.htm
- 3) 早川由紀夫、ゑれきてる 連載、日本の火山 新しい火山観を目指して、第6回 伊豆大島：
http://elekitel.jp/elekitel/series/2003/03/sr_03_n.htm
- 4) 気象庁火山業務資料、火山噴火予知連絡会 20年の歩み、(1995)
- 5) 内閣府防災担当 火山防災のページ：<http://www.bousai.go.jp/kazan/kazan.html>
- 6) 第6次火山噴火予知計画：<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/predict/kazan98.html>

- 7) 第7次火山噴火予知計画：http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu0/toushin/03072402.htm
- 8) 第7次火山噴火予知計画の実施状況等のレビューについて(報告)：
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/toushin/07011909/001.htm
- 9) 清水貴史、「アジアにおける防災衛星システムの構築と国際協力の推進」、科学技術動向、No.80、2007年11月号
- 10) 「宇宙線ミューオンによる火山体内部の透視イメージング」、科学技術動向、No.78、2007年9月号
- 11) 科学技術振興調整費 成果報告書、先導的研究等の推進、富士火山の活動の総合的研究と情報の高度化：
<http://scfdb.tokyo.jst.go.jp/pdf/20011970/2003/200119702003rr.pdf>
- 12) 井田喜明・谷口宏允編、「火山爆発に迫る：噴火メカニズムの解明と火山災害の軽減」東京大学出版会
- 13) WOVO：<http://www.wovo.org/>
- 14) WOVOdat：<http://wovo.atmos.colostate.edu/logon.html>
- 15) Schwandner, F. et al., WOVOdat: The world organization of volcano observatories database of volcanic unrest, Cities on Volcanoes 5, (2007).
- 16) Marzocchi et al., 2008 W. Marzocchi, L. Sandri and J. Selva, BET_EF: a probabilistic tool for long- and short-term eruption forecasting, Bull. Volcanol 70 (2008), pp. 623-632.
- 17) Newhall and Hoblitt, 2002 C.G. Newhall and R.P. Hoblitt, Constructing event trees for volcanic crises, Bull. Volcanol 64 (2002), pp. 3-20.
- 18) (独)防災科学技術研究所 火山防災ハザードマップ集：<http://www.bosai.go.jp/library/v-hazard/>
- 19) 富士山の火山防災対策：<http://www.bousai.go.jp/fujisan/>
- 20) 北川貞之、噴火警戒レベルの運用と取り組みについて、日本の新たな火山防災の仕組み—噴火警報・噴火警戒レベルと噴火時避難体制—、日本火山学会 2008年秋季大会公開シンポジウム講演予稿集
- 21) 2008年12月8日 朝日新聞
- 22) 藤井敏嗣、火山噴火予知計画の現状と課題 産総研地質調査総合センター第9回シンポジウム：
<http://www.gsj.jp/GDB/openfile/files/no0470/0470-4.pdf>
- 23) 藤井敏嗣、火山災害軽減のための方策に関する国際ワークショップ 2005—海外事例から学ぶ火山防災対策の教訓—報告書、279-289
- 24) 森田裕一ほか、噴火シナリオに基づく火山噴火予測システム、地震・火山噴火予知研究計画シンポジウム：
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/nenji/sympo2008.html>

執筆者プロフィール



藤田 英輔

客員研究官

独立行政法人 防災科学技術研究所 火山防災研究部 副部長
<http://www.bosai.go.jp/>

専門は火山物理学。

火山観測データに基づく火山活動のモデル化や火山現象の数値シミュレーションを手がけ、火山噴火の際に溶岩が流れる範囲を予測したシミュレーション図は、危険予測地図(ハザードマップ)の作成などに役立てられている。

科学技術動向研究センターとは

2001年1月より内閣府総合科学技術会議が設置され、従来以上に戦略性を重視する政策立案が検討されています。科学技術政策研究所では、戦略策定に不可欠な重要科学技術分野の動向に関する調査・分析機能を充実・強化するため2001年1月より新たに「科学技術動向研究センター」を設立いたしました。当センターでは、「科学技術基本計画」の策定に資する最新の科学技術動向に係る情報の収集や今後の方向性についての調査・研究に、下図に示すような体制で取り組んでいます。

センターがとりまとめた成果は、適宜、総合科学技術会議、文部科学省へ政策立案に資する資料として提供しております。

センターの具体的な活動は以下の3つです。

1

「科学技術専門家ネットワーク」による科学技術動向分析

我が国の産学官の研究者を「専門調査員」に委嘱し、インターネットを利用して科学技術動向に関する幅広い情報を収集・分析する「科学技術専門家ネットワーク」を運営しています。このネットワークを通じ、専門調査員より国内外の学会合、学術雑誌などで発表される研究成果、注目すべき動向や今後の科学技術の方向性等に関する意見等を広く収集いたします。

これらの情報に、センターが独自に行う調査・研究の結果を加え、毎月1回、「科学技術動向」としてまとめ、総合科学技術会議、文部科学省を始めとした科学技術関係機関等に配布しています。なお、この資料は <http://www.nistep.go.jp> においても公開しています。

2

重要科学技術分野・領域の動向の調査研究

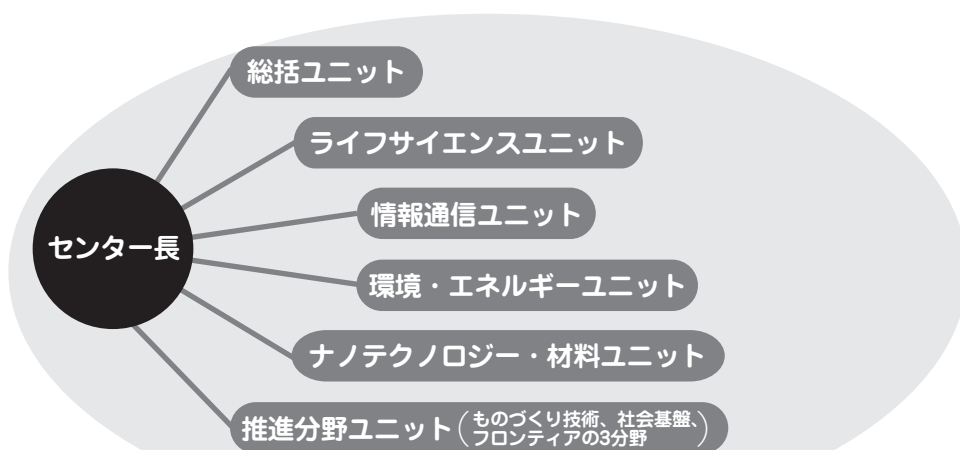
今後、国として取り組むべき重点事項、具体的な研究開発課題等を明確にすることを目的とし、重要な科学技術分野・領域に関するキーテクノロジー等を調査・分析します。

さらに、重要な科学技術分野・領域ごとの科学技術水準を欧米先進国と比較し、我が国の科学技術がどのような位置にあるのかについての調査・分析も行います。

3

技術予測に関する調査研究

当研究所では、科学技術の長期的将来動向を総合的に把握するため、デルファイ法を中心とする科学技術予測調査をほぼ5年ごとに実施しています。2005年には2年間にわたった「科学技術の中長期的発展に係る俯瞰的予測調査」を報告しました。



*それぞれのユニットには、職員の他、客員研究官（非常勤職員）を配置。

*センターの組織、担当分野などは適宜見直しを行う。

（2008年1月現在）

Science & Technology Trends

科学技術動向 1/2009



2009年1月号 第9巻第1号/毎月26日発行 通巻94号 ISSN 1349-3663



文部科学省 科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター