



天 気

1992年5月
Vol. 39, No. 5

〔シンポジウム〕

404:602 (火山灰; 噴煙)

第一回「火山灰と航空機航行の安全に関する国際シンポジウム」(1991年7月8日~12日, 米国ワシントン州シアトル) 出席報告*

澤田可洋**

1. はじめに

1991年7月に標記の国際シンポジウムがアメリカのシアトルで開催された。噴煙に含まれる火山灰は航空機の視界不良や窓ガラスの損傷、エンジントラブル等をもたらす危険な存在である。その検出にはリモートセンシング技術が不可欠であり、その移動や拡散の予測には気象観測資料と大気数値モデル計算が必要である。

筆者は約10年前から噴煙データによる噴火規模の評価等を目的として静止気象衛星「ひまわり」の画像で噴煙の検出と解析を行ってきた。この間、航行中のジェット旅客機が大規模な噴火の噴煙と遭遇してエンジン停止により失速するという事故が何回かあった。このため、衛星画像による噴煙検出は、広く拡散して航空安全を脅かす噴煙を把握するための有効な手法として評価され、各国で盛んに利用されるようになった。筆者は米国政府の基金により今回のシンポジウムに参加する機会を得たのでその概要を紹介したい。

2. 噴煙による空の火山災害

噴煙や降灰により空中や地上の航空機が損傷を受けた事例が各国で報告されている。日本では有珠山、伊豆大

島、浅間山、雲仙岳、桜島の噴火の際に、航空機が噴煙と遭遇したり、あるいは飛行ルートを迂回した例があり、特に桜島付近では窓ガラスのひび割れやエンジンの火山灰吸い込み等による損害をしばしば受けている。

外国では大規模な噴火の噴煙と遭遇した航空機が機体に損傷を受けたり、エンジンが推力低下や作動停止を起こし急激に高度が低下するという危険な「空の火山災害」も生じた。1980年のアメリカのセントヘレンズ噴火では約10機が噴煙により機体に損傷を受け、複数の空港が著しい降灰のために一時使用中止となった。1982年のインドネシアのガルングン噴火ではジャンボ旅客機2機が噴煙と遭遇して全エンジンが停止して失速し、1機は約7.5 kmも降下した。1983年のインドネシアのソプタン噴火でも旅客機が噴煙に遭遇した。1989年末に噴火を始めたアラスカのリダウト噴火では4機の航空機が噴煙と遭遇し、ジャンボ旅客機1機はエンジンの停止を起こして失速し約3 kmも降下した。風下のアンカレジ空港は多量の降灰のために発着が不能となり一時全面的に閉鎖された。1991年6月のフィリピンのピナトゥポ噴火の際にも大小14機の航空機が噴煙と遭遇しており、ピナトゥポ火山から約200 km離れた地点でもエンジンの推力低下等のトラブルが生じたが窓ガラスの被害は無かったという。著しい降灰によりマニラ空港が一時閉鎖され、クラーク米軍基地はその機能がマヒ状態となって閉鎖、放棄の原因となった。

幸い、ガルングンやリダウトの事故ではいずれも失速

* Report on the First International Symposium on Volcanic Ash and Aviation Safety, 8-12 July, 1991, Seattle, U.S.A.

** Yoshihiro Sawada, 静岡地方気象台。(現札幌管区気象台)

降下中にエンジンが再スタートして緊急着陸することができたので最悪の事態には至らずにすんだ。しかし、噴煙との遭遇で航行に重大な支障がなかったとしても、損傷した窓ガラスの交換や機体の修復、エンジンの清掃や交換、そして空港の場合は滑走路の火山灰除去や施設の修復等に莫大な経費が必要となる。これらの事故を契機に航行安全のための噴煙対策への関心が世界的に高まり、オーストラリア、米国では既に噴煙の発見、追跡、通報等を試行している。本シンポジウムはリダウト噴火をきっかけに推進されてきたが、たまたま開催直前の6月にピナトゥポ大噴火が発生し、本シンポジウムにとっては実にタイムリーな話題を提供することとなった。

3. シンポジウムの概要

本シンポジウムはホテルを会場として7月8日～12日にかけて開催された。8日と12日は連邦航空局の航空管制システム、ボーイング社シアトル工場の機体組立て工程、そして1980年のセントヘレンズ大爆発の際のプラスト（強烈な砂礫混じりの熱い突風）による森林倒壊現場等の見学旅行であった。主催はALPA（航空路線パイロット協会）、ATAA（米国航空輸送協会）、FAA（米国連邦航空局）、NOAA（米国海洋大気庁）、USGS（米国地質調査所）である。

参加者数は、当初の登録では25カ国から214人であり、ベスト5は、開催地である米国がトップで147人（約69%）、2位はケタが変わるが日本からの14人、そしてイギリスとカナダから6人、オーストラリアとオランダから5人、タイ、ソ連、フランスからの3人と続く。ただし、会場での発表によれば23カ国から約250人の出席とのことであった。

専門分野を見ると、火山学、気象学、リモートセンシング分野の研究者のほか、通常のシンポジウムとは異なり航空会社の運航管理部門、航空機メーカー、パイロット、連邦航空局等、研究者だけではなく航行の安全に係わる分野の実務者が多数参加していた。日本人の内訳は、火山分野から4人、気象分野から1人、そしてパイロットを含む航空会社関係者である。このほかにアメリカで勤務中の航空会社関係者の参加もあった。

4. 研究発表の概要

提出された論文は92編で、6つのテーマに分類されていたが、臨時にピナトゥポ噴火の特別セッションが追加された。発表は口頭とポスターであり、全体の約74%が

ポスター発表であった。テーマ毎に口頭発表がなされ、ついでポスター発表者が2枚のOHPまたはスライドにより3分間の概要説明を行い、その後全員が展示会場に移動してポスターを前に議論するという方式であった。以下に、筆者なりに印象に残った発表の概要をテーマごとにまとめる。（）内は当初登録の発表数である。

(1) リダウト火山の噴火活動（7編）

リダウト火山は1989年12月から1990年4月まで断続して噴火した。噴煙は最高約12kmの高度へ上昇し、多量の降灰が21回あり、当火山から約600km離れた地点でも降灰があった。当火山の大規模な噴火としては3回目、噴出物総体積は $4 \times 10^7 \text{m}^3$ と推測された。4月21日の噴火では、山頂の火口から山麓へ流れた火砕流堆積物から約10kmの高度にまで噴煙が上昇した。USGSのアラスカ火山観測所が噴火活動状況を監視し、NOAA、FAAは噴煙の実況や移動に関する情報を各国の航空関係者に提供した。なお、アラスカには42の活火山があり、近年はカトマイやオーガスチンが大規模な噴火をしている。

(2) 活火山および噴煙の特性（21編）

火山の分布、噴火の頻度、噴火の特性、火山災害、監視の方法、火山灰の特徴、噴煙のダイナミクス、噴火予知の現状等の火山活動や火山現象の全般について、分野の異なる参加者にも理解しやすいように火山研究者の発表がアレンジされていた。

(3) 噴煙による被害と影響（12編）

ガルングン、リダウト噴火の場合とも、噴煙と遭遇したパイロットによれば航空機搭載の気象レーダーは噴煙を全く検知できなかったという。噴煙に突入すると、視界が急激に低下し、セントエルモの火が見え、コックピットでも硫黄臭がした。エンジン推力が急激に低下し、電子コントロール系にも障害がでた。噴煙頂部へ脱けようと上昇のためにエンジンのパワーを上げることがかえってエンジン内に多量の火山灰を吸い込むことになり、エンジン内部の高熱で火山灰粒子が軟化、熔融、付着して推力低下を招いた。空中で遭遇した火山灰の粒径は1～100ミクロンで平均は約20ミクロン、エンジン内部で熔融した火山灰の粒径は約7ミクロンであった。火山灰には研磨性があるので窓ガラスのひび割れや機体のすり傷をもたらし、酸性であるために液滴状に付着すると機体に化学的な損傷を与える。

(4) 噴煙情報の連絡と対処方法（13編）

ICAO（国際民間航空機関）はVAW（火山灰警報検

討グループ)を発足させ、PIREP(操縦士報告)による航空機からの目撃噴火現象の報告や、NOTAM(ノータム:航空局から航空関係者に出される情報)やSIGMET(悪天情報:航行に危険な気象現象についての情報)の中に噴火や噴煙の情報を充実させる等の改定を行ってきた。オーストラリアはインドネシアと共同で噴煙監視を行う組織としてVALCAN(空中の火山現象に関する連絡委員会)を発足させ、国内には噴煙の識別等を研究するVADAS(火山灰の検出と航行に関する研究グループ)を設置した。鉱山局と気象局がルーチン業務として国内とその北側の地域を対象に「ひまわり」やノア衛星の画像で噴煙を検出し、噴煙の位置と予測等の情報を発表している。自国で受信している「ひまわり」の画像が噴煙検出、追跡の重要な手段である。噴煙と雲の識別にはノア衛星の画像が有効で、その受信アンテナを建設中である。ピナトッポ噴火に際してはこの体制を活用し、噴煙移動域の警告発表や各種の情報提供を積極的に行った。

アメリカではNWC(気象センター)のMAB(航行監視支局)がパイロット等から噴火の情報を入手し、その連絡を受けてNOAA/NESDISのSAB(シノプティック解析支局)が衛星画像で噴煙の検出、移動の把握を行い、その結果をMABは数値モデルに入力して噴煙の移動域を予測し、SIGMET等としてFAAや航空関係機関等へ発表している。噴火情報の入手には世界的な情報提供者ネットワークを持つスミソニアン協会のGVN(グローバル火山活動ネットワーク)も参加し、今後はUSGSも加わる。リダウト噴火では噴煙の位置、移動の予測、噴火の状況等が発表され、パソコンネットでの画面情報の提供も行われた。

日本では鹿児島空港の航空会社が、噴火の際の地震の振幅の大きさや空振(火口で発生した衝撃波による空気振動)の強さ等から桜島の爆発的噴火による噴煙のおおよその上昇高度を見当づけるシステムを独自に整備し、航行ルート迂回等の判断に利用して事故の軽減に効果を上げている。

飛行中のパイロット自身が拡散した噴煙を発見することは難しいので、NOAA、FAA、GVNは地上で噴煙を検出して移動域を予測し、パイロットや航空関係機関等へ直ちに伝達するシステムの構築を目指している。ワークステーションクラスの計算機を用い関係機関とは通信線でリンクし、噴火の情報、火山の位置、噴煙の分布、予測結果、SIGMET情報等を即時に入力、画面表示し、

発信できるシステムである。

(5) 気象学と噴煙拡散予測モデル(15編)

リダウト噴火では、アラスカ地域での噴煙の移動域について火山灰粒子の重力沈降を考慮した3次元ラグランジュ拡散予測モデルが開発された。上層大気構造はNWCのグローバルモデルによっている。予測された噴煙の範囲は3次元で画面表示され、噴火発生の際の噴煙の位置、風等のデータの入力により6分後には噴煙の位置、進路を表示できるというものである。

カナダ気象センターやアメリカの多くの研究機関は、上層の大気構造や風特性を入力して火山灰粒子の拡散、沈降、噴煙の移動域等を予測する応用モデルを開発して運用している。予測計算や結果の3次元表示にはワークステーションクラスの計算機が使用されている。NOAAで開発したMAPS(メソスケールの解析予測システム)は、噴煙の進路予測に風データの実況を結合させて短い時間間隔で噴煙進路を時々刻々と表示できる。

発表を聞いていると、噴煙の拡散、移動の予測手法についてはモデル、システムとも、少なくとも緊急対応用としてはほぼ確立されたという印象であった。噴火の規模、噴煙の高さ、火山灰の粒径や含有率等の初期条件と上層の風データがリアルタイムで入手できればその精度はさらに向上するであろう。

このほか、大規模な噴火の後の成層圏の温度上昇現象の解析や、衛星のマイクロ波センサーによる成層圏下部での昇温観測の事例が紹介された。

(6) 噴煙の検出と追跡(24編)

「ひまわり」の画像で航行に影響するような大きな噴煙を検出でき、表面温度から到達高度を推測できるが、噴煙の検出率は約14%である。ワシントンD.C.のNOAA/SABではホノルルで受信した「ひまわり」のアナログ画像を電話線で分岐モニターしており、近くデジタル画像に切り替えるという。

噴煙観測にミリ波やドップラーレーダー等のレーダーの有効性が強調されたが、まだその特性の検討、提案が始まった段階である。気象レーダーの検出密度よりはるかに薄い噴煙でも航空機には損傷を与えるので、0.1g/m³より薄く、粒径が10ミクロンより小さく、広がり500km以上にも及ぶ噴煙を検出できるシステムの開発が必要である。

ノア衛星のAVHRR(改良型高解像度放射計)による噴煙画像を、チャンネル4と5で得られた放射強度の比で表示すると噴煙と雲との識別をかなり良好に行える。

これは、火山灰粒子の主成分であるシリカ (SiO_2) を含む噴煙と通常の雲とでは、チャンネル4と5の波長帯(11ミクロンと12ミクロン)における赤外放射強度に差があるためである。現在の画像処理には約60分かかるが、今後は30秒程度での処理を目指すという。オーストラリアの研究チームはこの波長帯を用いたプロトタイプ of 機器を試作し、桜島でのテスト観測結果を発表して注目された。今後はCRTへの画像表示や航空機搭載型機器の開発を行うとのことである。

噴煙を SO_2 雲として識別するエンパス7号衛星のTOMS(全オゾン量測定スペクトロメーター)は1978年の打ち上げ以来35噴火の噴煙を検出した。赤道をはさみ南北に拡散したピナトッポ噴火による成層圏エアロゾルを見事に把握したが、その SO_2 濃度はエルチチョンのそれより2倍は濃いという。現在のTOMSは既に13年を経過して受信トラブルが多くなったが、今後6年間にソ連、アメリカ、日本からTOMS搭載衛星が4台打ち上げられる。静止気象衛星搭載用TOMS(GEO-TOMS)の設計が進められており、重量は約25kgで約15分で全球のオゾン分布を把握できるという。

このほか、ライダーによる火山性成層圏エアロゾルの検出、インフラソニック波の観測による噴火の検知、微動の振幅の大きさと火山灰噴出量との関係等の発表があった。今後の課題として、薄くなった噴煙の端をより詳細に検出する手法に関心が寄せられた。

(7) ピナトッポ噴火の報告

大噴火前後の地震活動や地殻変動の観測結果が発表されたが、本格的なデータ解析はこれからであろう。ただ

し、噴火の予知や住民避難発令の判断が極めて的確であったことが印象的であった。6月15日の最大規模の噴火の際の噴煙が「ひまわり」とノア衛星の画像で良好に撮影された。その表面にはスポット状の高温部や、同心円状あるいは直線状の噴煙の構造が見られ、噴煙表面での部分的な高温ガスの噴出や上昇した噴煙柱の崩れ落ちを想わせて興味深い。なお、最近ではGVNからレーダー観測によるとして当火山の噴煙高度が報告されているが、そのレーダーは通常の気象用レーダーであるという。

5. おわりに

オーストラリアでは数年前から自国の「ひまわり」受信画像を用いて噴煙の発見、通報を試行し始めた。かなり誤報があったが噴煙検出の経験者と技術を育てる効果があったという。試行とはいえ、アメリカ、オーストラリアの方式はリダウトとピナトッポの両噴火の際に有効な情報を提供しており、会場でも各国の航空関係者等から感謝されていた。

噴煙を検出、予測し、警告するにはリモートセンシング、火山、気象、システム開発等の各分野の総合的リンクが必要であるが、米豪両国の活気と比べて日本ではこの分野の研究者が大変少ない。今世紀最後の10年は国連のIDNDR(国際防災の10年)として位置付けられているが、日本としても大きく貢献できる分野であると思う。今後の研究者の増加を切望している次第である。なお、このシンポジウムの発表論文は1992年春ごろにプロシーディングとして刊行される予定である。

事務局からのお知らせ

- 事務局体制強化について総会承認により、次のとおり3名となります。なお、事務局は昨年からは気象庁8階北側に移転しています。従来に比べて広くなりました。どうぞお立ち寄り下さい。

電話 03-3212-8341 (内線2546又は2547)

FAX 03-3216-4401

事務局長 伊藤 嘉一

総務部長 木村 宏

経理部長 島津 成之

2. 勤務日

公務員週休2日制の施行に伴い、気象庁が土曜日閉庁となりますので学会事務局の勤務日も月曜日から金曜日となります。

なお、お急ぎの用件はFAXでお申し込み下さい。FAXは24時間体制で受信しております。