

アイスランドにおける火山噴火と航空関連の大混乱

安田成夫・梶谷義雄・多々納裕・小野寺三朗*

* 桜美林大学自然科学系

要 旨

2010年4月14日、アイスランド共和国のエイヤフィヤトラヨークトル (Eyjafjalla-jökull) 火山が噴火した。火山は首都レイキャビクの東方向125 kmに位置する。噴煙は上空10,000m以上の成層圏に達し、火山灰は上空の気流に乗り西ヨーロッパ全土に拡散したために、ヨーロッパの空港を中心に航空路の混乱が生じた。短期間ではあったが、欧州約30ヶ国の空港が一時閉鎖し、1週間に航空機10万便が運休した。結果的に航空路の混乱はヨーロッパを中心とした経済活動に多大な影響を及ぼした。

日本は、世界有数の火山国の一つであり、過去に大規模噴火を記録している。昨今、東アジア圏における経済的発展は眼を見張るものがあるとともに、近隣諸国がサプライチェーンに伴う物的移動で緊密に結ばれるにつれて、航空関連による人的移動も活発化している。このような状況にあって、大規模火山噴火が航空機に及ぼす影響を見過すことはできない。本調査は、日本近傍において将来想定される大規模噴火について、民間航空及びそれを取り巻く関連施設の影響軽減策を検討する際の参考とするために実施したものである。

キーワード: 航空路火山灰, 民間航空, 経済損失

1. まえがき

2010年4月14日、アイスランド共和国 (以下アイスランド) のエイヤフィヤトラヨークトル (Eyjafjallajökull) 火山が噴火した。火山は首都レイキャビクの東方向125 kmに位置します。噴煙は上空10,000m以上の成層圏に達し、火山灰は上空の気流に乗り西ヨーロッパ全土に拡散したために、航空機が飛行禁止となった。さらに、英国内の空港が閉鎖となったのをはじめ、フランスやドイツでも空港閉鎖となり、ヨーロッパの空港を中心に航空路の大混乱が生じた。短期間ではあったが、欧州約30ヶ国の空港が一時閉鎖し、1週間に航空機10万便が運休した。結果的に航空路の混乱はヨーロッパを中心とした経済活動に多大な影響を及ぼした。今回、ヨーロッパにおける航空路の混乱を鎮静化するにあたって、英国政府の果たした役割が大きく、さらには噴火に関わる騒動が鎮静化した9月に今回の火山噴火に伴う航空混乱について討議する国際会議がアイスランドで開催された。そこで、10月の末に英国の対応を

調査すべく、英国ブリストル大学、英国政府機関の Government Office for Science, 並びに火山噴火と航空に関する国際会議が開催されたアイスランドの Keilir Atlantic Center of Excellency他を訪問した。

2. 火山灰の航空機への影響

2.1 火山噴火の実態

アイスランドは火山活動が活発なことで世界的に有名であり、ここから噴出したマグマは東西に分かれプレートの一部を形成することになる。アイスランドには約130の火山があり、そのうちの18は、アイスランドへの植民が始まった西暦900年頃以降に噴火を起こしている。今回の噴火を除けば、ここ1100年の間にエイヤフィヤトラヨークトル火山では3回の噴火が起きている。920年、1612年、そして1821年から1823年にかけての噴火となる。エイヤフィヤトラヨークトル火山は2010年3月20日に最初の噴火を起こしたが、その後小康状態となった。2010年4月14日、エイヤフィヤトラヨークトル火山は、短期間休

止した後に再び噴火した。噴煙柱はおおよそ9 キロメートル (30,000 ft)の高さに至り、VEI (火山爆発指数) はIVと評価された。再度の噴火は氷河中央の頂上部噴火口から氷河湖決壊洪水を引き起こし、大量の水が近くの川に流入したため800人の住民が避難を強いられることとなった。この2度目の噴火は、数キロメートル上空の大気火山灰を噴き上げ、火山灰は上空の気流によって北西ヨーロッパ全土に拡散した。このことは、2010年4月15日より始まったヨーロッパ上空の大部分の空域を閉鎖する原因となり、北西ヨーロッパに航空混乱をもたらすこととなった。

火山活動は5月に入っても継続しており、16日に活動が活発化し、英国中部の空港、アイルランドの空港、更には英国のヒースロー空港も閉鎖された。オランダでは翌日に一部の空港が閉鎖されるに至った。

2.2 火山灰と航空機

火山灰からなる雲の周辺を飛行することは、航空機にとって大変な危険を伴う。噴火による煙と火山灰は視覚による航法においてその可視性を低減する。さらに火山灰に含まれる微細な破片はフロントガラスにショット・ブラストのように作用することもあり得る。Fig. 1に示すように、ジェットエンジンに吸い込まれた極細粒の火山灰は、エンジン内部の熱によって融解しタービブレード (羽) その他の部品に付着する。このことによって、部品の腐食や破損等が生じる。その結果、推力の低下やエンジン停止をもたらすことがある。レシプロエンジンでもシリンダーやピストンを傷める原因となる。

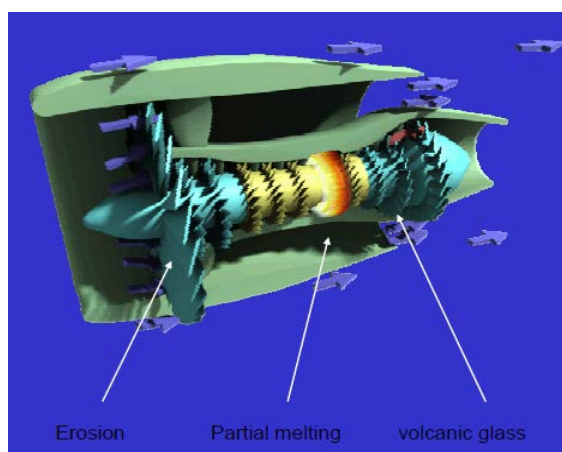


Fig. 1 Cross section of jet engine (Royo, 2010)

火山灰が航空機のジェットエンジンに対してどのような影響を及ぼすかを以下に詳細に記述する。火山灰はガラス質成分であるため、700 °C程度で融解してしまう。ジェットエンジンの燃焼室は1700 °C近くに達するが、エンジンを構成するタービブレード

が高温で溶けないように、1000 °Cまで冷却する必要がある。そのため、タービブレードには冷却孔が設置されており、タービンを構成する部材の過熱を防止している。しかしながら、火山灰は1000 °Cで融解し、溶けた火山灰はブレードに付着あるいは冷却孔を塞いでしまい、エンジンが過熱されることになる。エンジンの推力は低下し、最終的にエンジンが停止することとなる (Figs. 2, 3)。

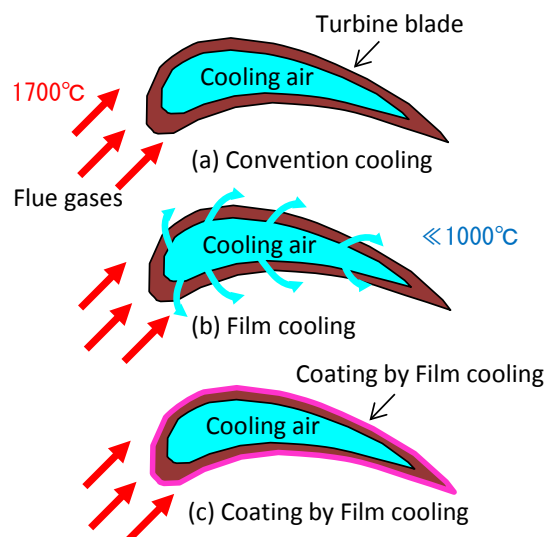


Fig. 2 Cooling of turbine blade

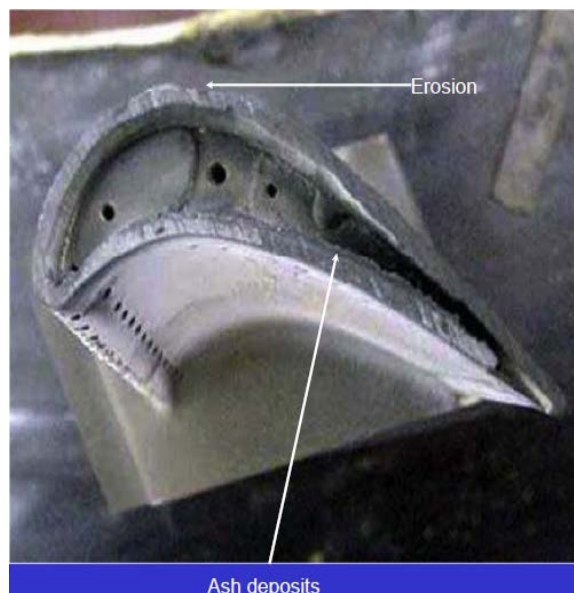


Fig. 3 Melted ash on turbine blade (Royo, 2010)

火山灰によるエンジントラブルとして以下のような事例がある。1982年にインドネシア上空でマレーシア発、オーストラリア行きのボーイング747型機がガルングン (Galunggung) 火山の噴火による火山灰が航空路に存在していることに気づかず飛行してし

まった。その結果12分間にわたり4基のジェットエンジン全てが停止し、ジェット機は滑空飛行状態になってしまった。7000 m高度が低下してエンジンが再始動したが、操縦席の窓ガラスは火山灰によって傷つき前方の視野が極端に損なわれていたのと、夜にもかかわらず、奇跡的に最寄りの空港に着陸することが出来た。1989年にはアラスカ上空にて、やはりボーイング747型機がリダウト（Redoubt）山の火山灰により8分間エンジン4基が停止している。

2.3 航空における火山灰の対応

上述したように、火山灰による航空機への影響を懸念し、1980年代に国際民間航空機関（ICAO）は、世界気象機関（WMO）、国際測地学・地球物理学連合（IUGG）など協力の基に国際航空路火山灰監視計画（IAVW）を推進した。その結果1990年代に各国の気象監視局（MWO）が火山灰に関する情報を空域悪天候情報（SIGMET）によって発表することとした。火山灰に関するSIGMETの発表を支援するために、世界各地に航空路火山灰情報センター（VAAC）を設置することとした。日本では1993年に気象庁内に東京VAACを設置している。VAACはFig. 4示すように現在世界9ヶ所に設置されている（小野寺ら，1997；新堀・桜井，2010）。

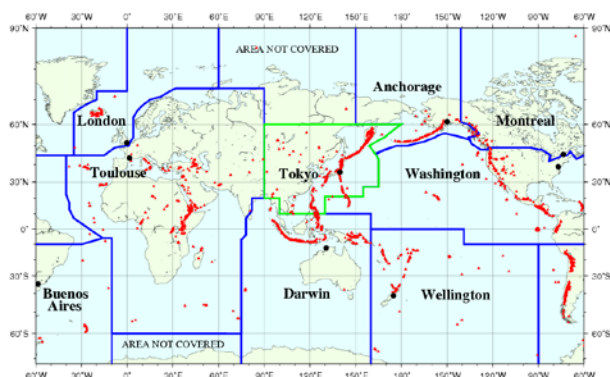


Fig. 4 Volcanic ash advisory centers – areas of responsibility (Shinbori and Sakurai, 2010)

3. 火山噴火に伴う欧州の飛行規制

アイスランドと英国の航空路火山灰情報を支援しているのが、ロンドンVAACであり、その情報に基づいて各国航空局が航空管制をしていると推察される。それにより、欧州の領空が飛行禁止となり、ヨーロッパの航空便をはじめヨーロッパ以外の地域からヨーロッパへ向かう便がキャンセルとなった。そのような状況下で、4月18日、19日に欧州の航空会社及び航空機製造会社が試験飛行を実施し、機体やエンジンに異常がないことを確認している。しかしな

がら、各国航空当局が依然として、欧州全域で空港閉鎖や飛行禁止の措置を継続したことに対して、欧州航空会社協会（AEA）を通じて過剰な制限であるとして速やかな見直しを要望している。特に、国際航空運送協会（IATA）からは航空当局の規制に対する厳しい指摘があった。このような状況の中で、4月19日にEUはテレビ会議による緊急運輸相理事会を開き、20日朝（現地時間）からの航空路の段階的再開を決定した。具体的には、航空路火山灰が存在していると飛行禁止としていたものをFig. 5に示すように航空路火山灰の濃度に応じて飛行の禁止基準を緩和し飛行区域を3つに分けている。火山灰の濃度が $4 \text{ mg} / \text{m}^3$ 以上は「全面飛行禁止（図中黒色ゾーン）」、 $0.2 \sim 4 \text{ mg} / \text{m}^3$ の範囲が「事前許可が必要」あるいは「条件遵守で飛行可能；飛行時間の制限（図中灰色ゾーン）」、 $0.2 \text{ mg} / \text{m}^3$ 以下は「通常飛行可能」としている。飛行可能基準は、CAA（イギリス民間航空局）によって原案が示されており、今回大きな役割を果たしている。それまでは火山灰が航空路に存在していれば完全に飛行禁止であった。「事前許可が必要」の区域にあつては、許可を得るためには事前に地上からのLIDAR（レーザー光レーダー）による計測を行う必要がある。今回の飛行規制緩和は、2010年5月21日以降に今回のエイヤフィヤトラヨークトル火山噴火に伴い、ヨーロッパ・北大西洋地域（EUR / NAT）で決められたものであり、正式情報であるVAAの補助情報としての位置付けとなる。Fig. 6に示すよう、飛行禁止区域が大幅に変更されることとなった。

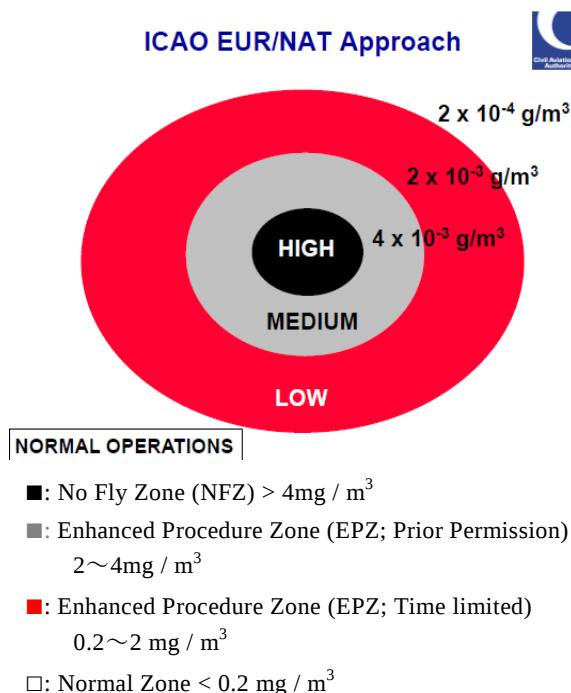


Fig. 5 Volcanic ash safety regulation (Kelleher, 2010)

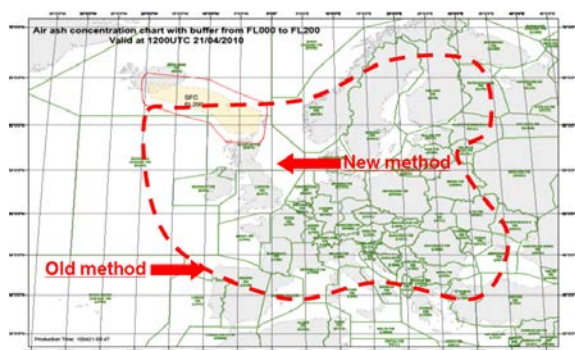


Fig. 6 Old and new no-fly areas in Europe after 21 April 2010 (Keilir, 2010)

また、今回の調査によって航空路火山灰の拡散について、ロンドンVAACと東京VAACとは予測の手法が異なることが明らかとなった。解析コードが、ロンドンVAACがNAMEⅢを用い、東京VAACが航空路火山灰拡散モデルを用いており殆ど差異はないようである。しかし、ロンドンVAACでは、衛星写真と噴煙柱の諸元を初期値として火山灰の拡散計算を実施している。そのため、火山灰の拡散範囲が広めとなる傾向にあるようである。一方、東京VAACでは、衛星データからその時点における火山灰の拡散範囲を求め、次にその範囲を拡散モデルに境界条件として与えることにより、数時間後の火山灰の拡散範囲を予測している。

ところで衛星写真あるいは衛星データはあくまでも衛星からの視覚的な火山灰の範囲であり、航空機のエンジンにとって問題になる細かい粒子の航空路火山灰まで追跡することは不可能とも考えられる。そのため、ロンドンVAACの予測情報が航空機にとって安全側となることは止むを得ないかもしれない。

4. 航空機の飛行禁止に伴う経済的損失

今回のエイヤフィヤトラヨークトル火山の噴火による経済的損失は、IATAの集計によると120万人 / 日の旅客が影響を受け、航空会社は6日間で\$17億（1,700億円）に達したとしている。Fig. 7にはヨーロッパにおける航空便への影響を示す。特に、4月17日～19日の3日間で\$4億 / 日の減収としている。経済的損失は航空業界ばかりでなく、農産物や工業産物を空輸に頼っている産業においても多大な経済的損害をもたらした（Table 1）。

表中では、わが国の空港における滞留旅客の対応が、問題になっている。フランクフルト空港（ドイツ）の管理会社、フラポート株式会社（Fraport AG）では、滞留旅客に対して食糧や寝具の提供を積極的に行った。フラポート株式会社では、年に何日か豪雪による航空麻痺を経験することから、滞留旅客のための備品が準備しており、それらを今回放出したとのことである（Templin, 2010）。

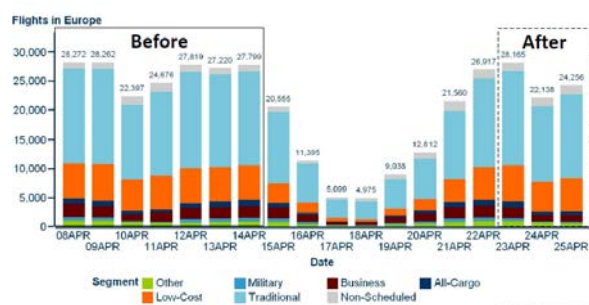


Fig. 7 Traffic in Europe before and during April crisis (Eurocontrol, 2010)

Table 1 Influence to the companies by aviation restriction

Europe	Airline (UK)	The loss to be £ 15 – 20 million (¥ 2.1 – 2.8 billion) a day. (entire world: € 1.7 billion (¥ 192 billion)*)
	Airports (UK)	The loss to be £ 500 million (¥ 70 billion) a day.
	Distribution company (EU)	Delay of 1-2 days (domestic), delay of 3-5 days (overseas).
	Fishery company	Reduction of salmon fishing due to the difficulty of airlift.
	Motor company	In 3 factories, the operation was stopped for 2 – 3 days one by one due to the shortage of parts' supply.
	Flower market;	In flower market in Netherlands, the import of roses from Kenya was broken off. The roses were kept in the refrigeration facility in Kenya. The loss to be \$ 2 million (¥ 185 million) a day.
Japan	Personal computer manufacturer	Influence on export to European nations.
	Airlines and travel agency	Slip in stock prices. Anxiety to decrease of number of travelers during the coming golden week holidays.
	Airports	Criticism of travelers to the response of Japanese airport authority compared with those of Europe. The stay traveler measures were announced by Japan tourism agency.
	Travel agency	Cancellation of Europe travel.
	Sales industry of medicine;	Import of radiologist medicine for diagnosis of breast cancer was broken off. Shipping cannot be used as the half – life of the radioactivity is 2 -3 days.
	Manufacturer of electric appliance	Some companies depending on airlift were influenced.

Source: SJRM report, 28/may/2010; * Flight International, Sep/2010

5. 現地聞き取り調査

5.1 英国及び欧州における火山噴火への対応

ブリストル大学では、Bristol Environmental Risk Research Centre (Brisk) において、今回の火山噴火の対応に関する大学の関与について説明がなされた。最初に、Steve Parks教授からBriskの紹介がなされた。続いてWilly Spinall教授から今回の噴火対応は、英国政府と全英の関連大学との総合的な共同作業 (Multidisciplinary collaboration) であり、5~6人からなるブレーンストーミングが頻繁になされたとのことである。Aspinall教授は、原子力の核廃棄物の問題を専門しており、日本の原子力関係と密接な繋がりを有しておられる。次に、Mathew Watson講師からは、航空路火山灰は英国気象庁 (UK Met Office: United Kingdom Meteorological Office) から発せられており、大気拡散コードName IIIを用いて解析的に予測しているの、火山の噴煙柱の設定の仕方によって分布範囲が異なってくるとの説明があった。また、飛行機に搭載したLIDAR (レーザー光レーダー) によって、火山灰の高さ方向の分布を計測したところ、解析による分布範囲数 kmに対して数百 mと狭い結果となった。また、当時、火山灰の拡散予測は衛星写真に比べて過大になっているのではないかといった意見も出された。さらに、拡散予測では初期値である噴煙柱の設定が重要であり、火山学者の大いなる関与が必要であると締め括っていた。

次に、ロンドンのGO-Science (Government Office for Science) を訪問した。GO-ScienceはDepartment for Business, Innovation & Skills (BIS) に属しており、そのHead of Civil Contingency TeamであるDr. Christopher McFeeと、Cabinet Office所属のAnita Friendから説明がなされた。GO-Scienceは科学技術を種々の問題に対してどのように適用するかを検討する機関であり、もともとは30年以上前にCabinet Officeに設立されたが、扱う内容が科学技術に関連しているので数年前にBISに所管替えになった。GO-Scienceは重要な科学技術研究に予算が適切に配分されているかを検証したり、クロスバウンダリーの問題に対して省庁間の調整をする役割を担っている。また、GO-ScienceはCabinet OfficeやPrime Ministerに対してBriefing (状況説明) を行う。実際のBriefingは、Government Chief Science Advisor (GCSA; 現在はProfessor John Beddington) が行う。危機管理問題が発生した際にはCOBRA (Cabinet Office Briefing Room-A) が立ち上がることになっており、今回の火山噴火にともなう航空路火山灰に関する問題でも設立された。COBRA設立は、1986年に英国で発生したBSE問題を契機としている。

エイヤフィヤトラヨークトル火山が4月14日二度目に噴火した翌日、GCSAはCabinet OfficeのCivil Contingency Secretariat (CCS) と協議の結果、科学的アドバイスが必要と判断し、4月18日に首相と協議の結果、翌日にはCOBRAが立ち上げられた。その際の焦点は、国外にいる英国国民の安全な英国への送還である。今回のCOBRAの主務官庁は、Ministry of TransportとMinistry of Foreign Affairsであり、扱う問題によってCOBRAの主務官庁が異なる。最終的には軍艦の派遣による英国内への送還がなされた。

4月20日にはSAGE (Science Advisory Group for Emergency) の電話会議が開催された。SAGEはCOBRAが科学的根拠に基づいた判断やアドバイスを適宜提供できるようにサポートする役割を担っている。構成メンバーは、政府の専門家、政府以外の専門家、幾つかの省庁のChief Science Adviser及び民間航空局 (CAA) の代表からなり、議長はGCSAが務める。また、SAGEはGO-Scienceによってサポートされる。SAGEでは、以下の事柄について着目した。

1. 今回の事象に対する新たな研究の必要性及びペアレビュー; 微細な火山灰が大気中に拡散した理由は何か。UK Met Officeが使用している拡散モデルの不確実性。飛行機のエンジンに対する火山灰の影響。
2. 選択する政策として何があるか。
3. 航空産業界の代表に対する科学的な根拠に基づいた状況説明をする。
4. 火山灰に関して計測能力並びに研究能力の現況。
5. 火山噴火に関わるハザードについての全般的なリスク評価の5項目である。

5.2 火山噴火と航空に関する大西洋会議

火山噴火後の9月15~16日に、アイスランドのKeilir Atlantic Center of Excellencyにおいて今回の火山噴火と航空に関する国際会議が開催された。筆者らは英国の次にアイスランドを訪問し、この国際会議に出席したアイスランドの研究者からヒアリングを行った。国際会議の概要を以下に記述する。

会議は、著名な火山学者と欧州委員会の航空輸送局長の基調講演で始められた。

飛行の安全について、最終的に責任を持つのは、航空会社、飛行パイロット、管制官等の誰であるべきかといった議論が、ICAO、米国航空会社、国際航空機操縦士協会 (IFALPA) 及び国際航空管制官協会 (IFALDA) からの専門家によってなされた。会場から航空管制当局が最終的に飛行判断を行うべしとした意見が出された。

技術的要因として、航空機本体とジェットエンジンの専門家によって議論がなされた。火山灰濃度に関する正確な情報提供をする必要があるとの意見があった。ロールスロイス社のジェットエンジン350

基について調査したところ、火山灰濃度 $2\text{ mg} / \text{m}^3$ で安全性に問題がなかったことが報告された。さらに、高濃度の火山灰中でも飛行が可能かもしれないが、現時点では航空機メーカーからの支持は得られていないとのことである。いずれにしても、航空機メーカーからは火山灰が視認できる状態では飛行すべきではないとの意見が出された。

火山灰の科学的観点から、火山学者、火山灰予測及び火山灰計測の専門家によって議論がなされた。今回の火山噴火に続き、将来アイスランドのカトラ（Katla）山の噴火が懸念されるとの指摘がなされた。火山灰予測では、入力パラメータ及び初期条件の不確実性が課題であることが強調された。すなわち火山灰予測では、火山から放出される火山灰噴出量の見積もりに依存している。幾つかの国が火山灰の大気中観測を実施したが、予測された火山灰濃度がかなり過大であったことを指摘している。これには、LIDARによる観測や火山近傍で実施された火山灰の現地観測結果に基づく指摘も含まれている。このことは、火山灰の中を実際の飛行機を用いたテスト飛行によっても支持されるところとなった。そのため、火山灰の予測過程において、その他の観測データとともに衛星画像を活用することが必要であるとの指摘がなされた。さらに火山灰の地上計測に加えて、大気中計測が重要であるとの意見が大方の支持を得た。

国際的活動として、ICAOと国際火山灰問題特別委員会（IVATF）の活動が高く評価され、活動が重要事項として実行されるべきであることが合意された。この活動を通じて火山灰を取り扱う新しい方法論や手順が確立されることが期待される。さらに、火山灰濃度の解析モデル、計測、予測において広範囲の改善が必要であることについても合意がなされた。火山灰濃度 $2\text{ mg} / \text{m}^3$ まで条件なしで飛行が許容できるとの指摘もあったが、エンジン製造メーカーのさらなる研究が必要とされた。また、この火山灰濃度値には、懐疑的な意見もあるのでさらなる議論が必要とのことであった。

最後に、欧州航空安全局（EASA）と欧州航空航法安全機構（Eurocontrol）に対して、将来の火山噴火に対する航空の管理システム構築に向け、今後の活動に大きな期待を寄せるということで閉幕した。

15日～16日の大西洋会議のあとに「エイヤフィヤトラヨークトル噴火と小規模火山噴火の影響」に関するワークショップが2010年9月17～19日に開催された。そこでは、以下の事柄について非公式の口頭討議セッションが設けられた。

1. 噴火前あるいは噴火時における地表の地形変化の計測

2. 噴火計測および火山噴出物の排出量の特定
3. エイヤフィヤトラヨークトル火山噴火並びに最近の噴火から得た教訓

このほかにも、国際的な調査プロジェクトの可能性についても議論がなされていた。

6. おわりに

日本は富士山、桜島をはじめとして47の火山が存在している火山国であり、日本以外に環太平洋火山帯に位置する東アジアの国々にも大規模火山が存在する（聯合ニュース、2010；小川・早川、1998）。我が国の経済は東アジアの経済活動と密接な関係にある。将来起こりうる大規模火山噴火への対応を、我が国における事業継続計画の一環として検討しておくことは、ことが起こってから「想定外」と言い訳しないためにも重要である。

今後の検討としては、第一に将来我が国の航空路に影響を及ぼす大規模火山噴火のシナリオを作成する。第二としては、大規模火山噴火が発生した時の航空路火山灰の観測方法について検討を実施する。特に火山灰の観測技術では、XバンドMPレーダーを用いた火山灰観測の可能性について、検討が開始されている。現在XバンドMPレーダーは、降雨計測において有力な監視手法として多い注目されており、次の段階として降雪量計測に可能性についても検討がなされている。さらに考え方を拡張し、降下火山灰や航空路火山灰計測の可能性についても検討が開始されようとしており、火山灰計測が可能となればLIDARを用いた計測と併せて、精度の高い豊富な情報取得が期待される。

参考文献

- 小野寺三朗・井口正人・石原和弘（1997）：火山噴火による航空機災害の防止と軽減，京都大学防災研究所年報，40，B-1，pp. 73-81.
- 新堀敏基・桜井利幸（2010）：火山灰の輸送シミュレーションと航空路火山灰情報，地震研共同利用研究集会，火山現象の数値計算研究
- 聯合ニュース（2010）：白頭山に数年内噴火の兆候--気象庁が対策準備に着手--.
- 損保ジャパン・リスクマネジメント（2010）：アイスランドの火山噴火と企業への影響，SJRMレポート.
- 早川由紀夫・小山真人（1998）：日本海をはさんで10世紀に相次いで起こった二つの大噴火の年月日--十和田湖と白頭山--，火山，43巻，5号，pp. 403-407.

- Eurocontrol (2010): Ash-cloud of April and May 2010-- Impact on air traffic--, European Organization for the Safety of Air Navigation.
- Kelleher, R. (2010): Atlantic conference on Eyjafjallajökull and aviation, UK volcanic ash safety regulations, Keflavik Airport, Iceland.
- Royo, C. C. (2010): Atlantic Conference on Eyjafjallajökull and Aviation, IFALPA's position paper submitted to ICAO's International Volcanic Ash Task Force, Keflavik Airport, Iceland.
- Templin, C. (2010): Icelandic volcanic eruption-- Damage and response from the experience of Frankfurt airport, Mini seminar on Icelandic volcanic eruption and impacts on aviation systems.

The Economic Influence on the Civil Aviation by the Large-scale Eruption in Iceland

Nario YASUDA, Yoshio KAJITANI, Hirokazu TATANO and Sabro ONODERA*

* J. F. Oberlin University

Synopsis

The volcano of Eyjafjallajökull in Republic of Iceland which is located in 125km east of Capital Reykjavik erupted on April 14, 2010. The eruption column reached the stratosphere of 10,000m or more in the atmosphere, and volcanic ashes had been diffused by the air current in high altitude to the whole land in west Europe. The volcanic ash clouds caused the confusion of the aviation in the airports in Europe. The airports of about 30 countries in Europe closed temporarily, and 100,000 aircraft flights a week interrupted operations. The confusion of the airline consequentially exerted a large influence on an international economic activity centering on Europe.

Japan is one of the eminent volcano countries in the world and the large-scale eruptions were recorded at the surrounding of the eastern Asia in the past. Recently, a human movement by the aircraft has been activated according to remarkable economic development in the eastern Asian countries, which are connected in the supply chain. In such a circumstance, the influence by a large-scale volcanic eruption to the aircraft is not neglected. In this study, we prepare the assumption scenario of the volcanic ash clouds in the future to investigate the influence reduction of the civil aviation and the related facilities as for the large-scale eruption.

Keywords: volcanic ash, civil aviation, economic loss