

R&Dシンポジウム パネルディスカッション

「観測技術による防災力の向上へむけて」

パネリスト：

地球温暖化観測推進事務局／環境省・気象庁 事務局長
財団法人 日本気象協会 顧問

藤谷 徳之助 氏

東京ガス株式会社 首都圏東導管事業部長

清水 善久 氏

株式会社日本航空インターナショナル
空港本部オペレーションコントロールセンター業務部
兼 運航本部運航部 気象グループ長

藤堂 憲幸 氏

独立行政法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部長
筑波大学連携大学院教授

真木 雅之 氏

東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター 防災研究所長

島村 誠

コーディネーター：

東日本旅客鉄道株式会社 執行役員 技術企画部長 兼 JR東日本研究開発センター所長

荒井 稔



1. はじめに

(荒井) このパネルディスカッションでは、「観測技術による防災力の向上へむけて」と題して、今日は気象、地象の各専門家の方、それに関わるオペレーションの専門の方にご参加いただき、幅広いお話を伺っていききたいと思います。

パネルディスカッション

「観測技術による防災力の向上へむけて」

気象・・・大気の状態および雨・風・雷など、
大気中の諸現象。

地象・・・大地に起る現象。

【出典：広辞苑 第五版より】

先ほど社長からも、地象という言葉はあまり聞いたことがないという話がありましたが、私も実はあまり聞いたことがなく、広辞苑で調べてまいりました。気象は、「大気の状態および雨・風・雷など、大気中の諸現象」、地象というのは、「大地に起こる現象」だと言われています。この

ほかに専門の気象業務法という法律があるのですが、そこにはもう少し詳しく定義されており、地象は「地震および火山現象ならびに気象に密接に関連する地面および地中の諸現象」と定義されています。この法律には、気象、地象のほかに水象というのも定義されており、水象とは「気象または地震に密接に関連する陸水および海洋の諸現象」と定義されています。今日は気象、地象という観点からさまざまなお話を聞かせていただきたいと思います。

では早速ですが、それぞれのご専門の分野における防災に関する技術の進化、それと現在の最先端の状況について、またその背景にある考え方、思想といった点について伺いしたいと思います。

2. 各分野での防災に関する取組み

2.1 気象レーダ観測による防災力の向上

(荒井) 最初に気象レーダの専門家の真木さんから、お願い致します。

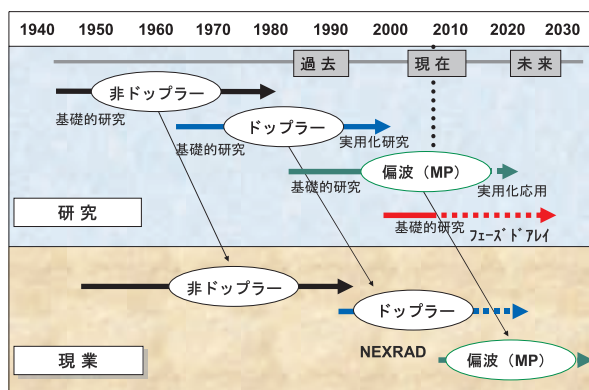
(真木) 独立行政法人 防災科学技術研究所の真木です。今日は「気象レーダ観測による防災力の向上」、副タイトルを「マルチパラメータレーダ」ということでお話します。

皆さま大多数の方は、防災科学技術研究所がどのようなところかをご存知ないかと思うので、まず研究所の

簡単な紹介をさせていただきます。防災科学技術研究所はつくばにあります。旧科学技術庁の国立研究所の1つとして、1963年に設立され、2001年に独立行政法人となりました。災害から人命を守り、災害の教訓を生かして災害に強い社会の実現をめざすことを研究所の使命とし、地震や火山、気象、土砂および雪氷災害に対する被害の軽減に関する研究開発を行っています。地震でいいますと、強震度地震予測地図や緊急地震速報というのを皆さんテレビなどでよく聞かれるかと思いますが、その大部分の地震計データを提供している研究所です。平成19年時点での全職員数は約208名で、そのうち研究者は約130名です。

私が防災科学技術研究所に入所したのは1986年です。入所以来、約20年間、気象レーダを利用した自然災害の研究に携わってきました。現在は水・土砂防災研究部に所属し、マルチパラメータレーダを使った豪雨や強風の監視技術と発生予測の研究を進めています。今年がそのプロジェクトの5年計画のちょうど真ん中の3年目になります。今日は、豪雨研究に欠かせない気象レーダについてその歴史と現状を簡単にお話した後、これまで私たちの研究所で得られたマルチパラメータレーダを用いた研究成果についてご紹介します。

気象レーダの変遷



それでは最初に、気象レーダがどのように変遷してきたかを、研究用と現業用のレーダについてお話ししたいと思います。

レーダというのはご存知のように、第2次世界大戦中に軍事用として開発されました。戦後、軍事用レーダの技術を気象用に使えないかということで、特にアメリカやイギリスなどの戦勝国でレーダによる雨の研究が始まりました。いつ誰が最初にレーダで降水を観測したかということが話題になることがあります。記録として残っているのは、1941年2月20日、イギリス沖で、レーダから約10kmのところのシャワーがとらえられたのが最初のようなのです。

レーダには、非ドップラーレーダ、ドップラーレーダ、

マルチパラメータレーダ（あるいは偏波レーダ）という3つのタイプがあります。非ドップラーレーダは、最も古いタイプのレーダで、在来型レーダと呼ばれる場合もあります。ドップラーレーダは、最近テレビなどでも報道されることがありますが、気象庁が全国に展開をしている、風を測ることができるレーダです。最も新しいタイプのレーダは図にあるようにマルチパラメータレーダ（以降MPレーダと呼びます）です。偏波ドップラーレーダと呼ばれることもあります。

通常、研究用レーダが、現業で使われるようになるには10年から15年くらいかかります。例えば、ドップラーレーダですと、基礎的な研究の後、研究用のレーダが開発され、それを用いたさまざまな研究がなされます。その後、実用化研究を経て、現業に利用されます。米国の場合ですと、研究用レーダが開発されたのが1970年前後で、現業用レーダとしての利用は1988年からです。この計画は、NEXRAD計画と呼ばれ、全米の約160台の現業レーダがドップラー化されました。現在、研究用レーダは偏波レーダ（MPレーダ）の段階です。気象レーダは約70年の歴史がありますが、MPレーダ技術の開発は、その歴史の中でも特筆すべきことです。後でご紹介しますが、MPレーダにより、正確な降雨量の推定が可能になってきたのです。

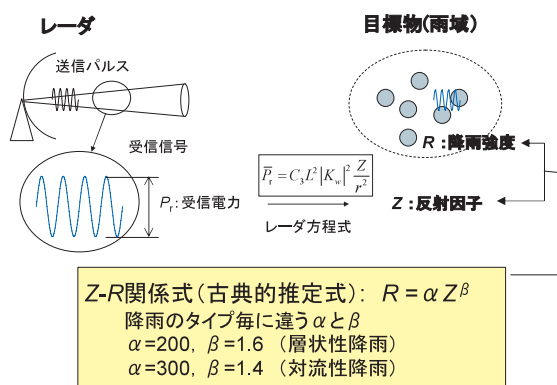
レーダのタイプと得られる情報

レーダのタイプ	測定パラメータ	降水量	風向・風速	降水粒子のタイプ	雨滴粒径分布
在来型レーダ	反射強度	○	×	×	×
ドップラーレーダ	反射強度 ドップラー速度 スペクトル幅	○	△	×	×
マルチパラメータレーダ	反射強度 ドップラー速度 スペクトル幅 反射因子差 偏波間位相差 偏波間相関係数	○	△	○	○

先ほど紹介しました在来型レーダ、ドップラーレーダ、MPレーダで、どういうパラメータが得られるかを表に示しました。在来型レーダは、送信電波が雨雲にあたって返ってくる電波の強さを測定します。このパラメータは反射因子と呼ばれますが、反射因子の分布から降水量分布を調べることができます。ドップラーレーダになると、反射因子のほかにドップラー速度、スペクトル幅という風に対する情報が得られるようになります。ここで注意しないといけないのは、ドップラーレーダが測定するのは、レーダに近づいているのか、遠ざかるかという動径風です。風向・風速の分布を測定することはできません。それで、表では△にしています。

MPレーダは反射因子、ドップラー速度、スペクトル幅に加えて反射因子差、偏波間位相差、偏波間相関係数という、偏波パラメータを測定することができます。偏波パラメータにより降水量、特に降雨量を非常に正確に測ることができるので表では◎にしています。風向・風速についてはドップラーレーダと同じです。偏波パラメータの情報からは、降水粒子のタイプや粒径分布を推定することができます。

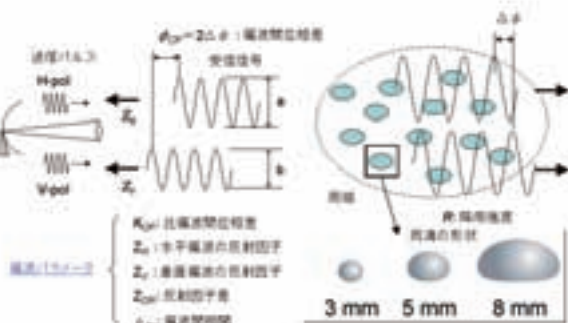
在来型レーダによる降雨量推定原理



図は、在来型による降雨量推定の原理を説明したものです。レーダから通常、1秒間に1,000発から2,000発の送信パルスが発射されます。目標物としての雨域があると、そこから電波が反射されて返ってきます。その反射電波の振幅情報、すなわち受信電力をレーダ方程式に当てはめてやると、 Z という反射因子が求まります。降雨強度 R は、良く知られた $Z-R$ 関係式 ($R=aZ^b$ という関数形で表されますが) から推定されます。ここで a 、 b は降雨のタイプにより異なります。層状性の場合には、 $a=200$ 、 $b=1.6$ 、対流性の場合では、 $a=300$ 、 $b=1.4$ が使われます。これまで多くの研究から、この方法はさまざまな誤差の要因があることが知られています。最も根本的な誤差の要因として、 a と b の値が雨滴の粒径分布の変動に敏感で、時間的に空間的に変化するということがあります。

偏波ドップラーレーダ

様々な電波パラメータから開氷に関する詳細な情報を測るレーダ



これに対してMPレーダはどのように降雨量を推定するかを示したのがこの図です。MPレーダは、水平偏波（H-pol）と垂直偏波（V-pol）の2種類のパルス状電波を同時に送信します。大氣中に何も無いときには水平と垂直電波の伝わる速度は同じです。ところが雨域を2種類の電波が伝わる時に、若干ですが $\Delta\phi$ という位相差が生じます。なぜこの位相差が生じるかというと、雨粒が大きくなればなるほど雨滴の形状は扁平なお供えもちのような形になるためです。雨粒により反射された電波がレーダに返ってくる時にも同じ様に位相差ができますので、レーダでは $2\Delta\phi$ の位相差を観測することになります。このパラメータを偏波間位相差（ ϕ_{DP} ）と呼びます。 ϕ_{DP} は距離に依存しますので、単位距離あたりの ϕ_{DP} の変化量として K_{DP} というパラメータも利用されます。私たちはこのパラメータを日本語では比偏波間位相差と呼んでいます。 ϕ_{DP} あるいは K_{DP} は、降雨量推定の鍵となる重要なパラメータです。

MPレーダによる降雨強度推定には、 $R = a K_{\text{dp}}^b$ という関係式を使います。先ほどのZ-R関係式と似た形ですが、Z-R関係式が被る雨滴粒径分布の変動の影響を受けにくい推定方法であることが知られています。このため正確な降雨強度が求められるのです。

雨量情報の現状と将来

国土交通省 解析雨量

- Z-R関係式が被る誤差要因に対して敏感ではない
- 地上雨量計による補正無しで雨量の推定が可能?

ここまでのまとめとして、雨量情報の現状と将来について図に示しました。これまでの降雨情報は在来型気象レーダ、あるいはドップラーレーダによるもので、Z-R関係式が用いられてきました。この方法は振幅情報を使って降雨強度を推定しますので、雨滴の粒径分布の変動に敏感であることの他に、レーダのハードウェアのキャリブレーションの誤差、降雨減衰の影響、電の影響、ビームの地形による一部遮蔽などの誤差要因の影響を受けます。そこで正確な雨量を求めるためには、地上の雨量計ネットワークによる補正が必要不可欠ということが常識になっています。気象庁ではレーダと雨量計を組み合わせ

せて、レーダアメダス解析雨量という世界でも精度の良い雨量情報をつくっています。国土交通省河川局でも、合成レーダ雨量という、やはり地上の雨量計で補正した雨量情報を提供しています。最近この両者の雨量情報が統一され、国土交通省解析雨量と呼ばれています。

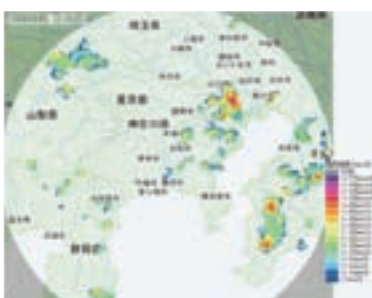
雨量計による補正により精度は改善されますが、犠牲になる点もあります。レーダの持っている瞬時性です。雨量計の計測データは通常、10分間隔で得られますので、補正されるレーダ雨量情報もこの時間間隔になります。解析雨量は、30分ごとに更新される1時間積算雨量の情報です。

これに対して、新しい方法、MPレーダを用いる方法が開発されました。MPレーダは偏波パラメータを用いて雨量を推定しますが、この方法は、Z-R関係式が破れるような誤差要因に対して敏感ではないので、ここがポイントになります。地上の雨量計による補正なしでも精度の良い雨量推定が可能です。雨量計の補正を必要としないということには、レーダの性能そのもの、瞬時性を生かすことができるという大きな利点があります。レーダというのは先ほども話しましたように軍用に開発されていますので、瞬時にしてあるエリアの雨量分布を求めることができます。このMPレーダの瞬時性という利点は、これから紹介しますが、今年2008年の、いわゆるゲリラ豪雨の観測に有効であることが実証されました。

観測事例 2008 8/5 雑司ヶ谷豪雨

- 11 40頃、豊島区雑司ヶ谷でゲリラ豪雨による下水道内が急に増水。5名が流される。
- 千代田、新宿、文京で床下浸水46件。新宿区で崖崩れ2件。
- 東京、神奈川、千葉で落雷による停電。JR中央線が落雷で上下線272本が運休し18万6000人に影響。
- 停電により成田空港と羽田空港で航空機の遅れ。
- 東京59.5mm 15 17まで。

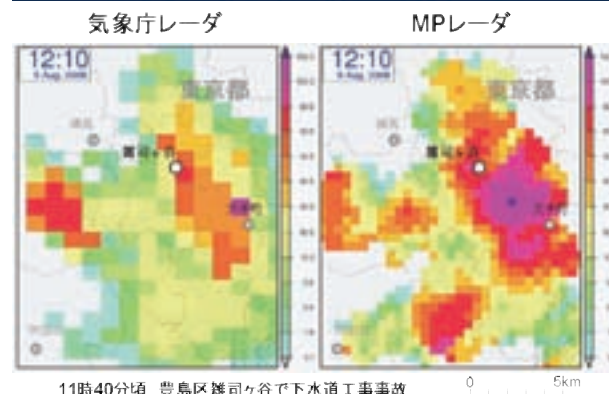
雷雨の発生 1000-1500 LST



この例は、2008年8月5日の雑司ヶ谷の豪雨の観測事例です。まだ記憶に新しいと思いますが、下水道の工事をしていた方が5名亡くなられたときの豪雨です。アニメーションは、MPレーダでとらえた5分ごとの雨の変化の様子です。11時40分頃、雑司ヶ谷でゲリラ豪雨により下水道内が急に増水して5名が流されました。これ以外にも浸水被害や崖崩れなどが起きています。東京、神奈川、千葉では落雷による停電でJRの中央線の上下線272本が運休し、18万6,000人に影響が出ました。ご覧になると分かりますように、さまざまな場所で、セル状の積乱雲が急に

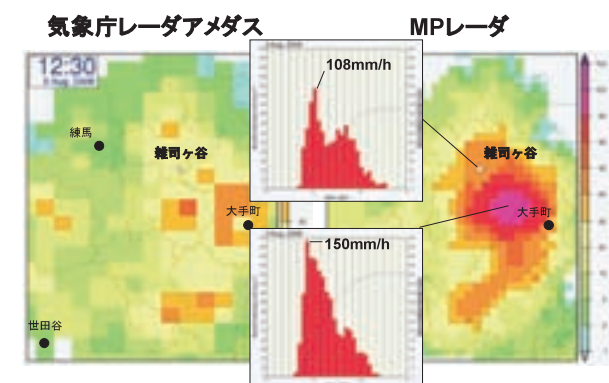
強くなつては弱くなるといったことがおきています。これがいわゆるゲリラ型と呼ばれる所以です。中には、局所的に100ミリを超すような猛烈に強い雨をもたらす積乱雲もあります。

10分間雨量 気象庁レーダとの比較



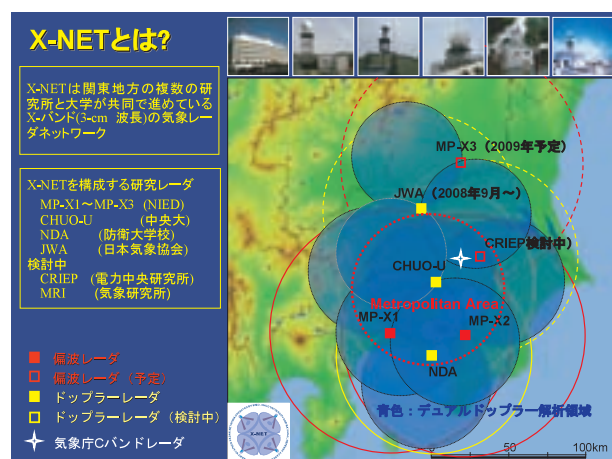
事故が起きた雑司ヶ谷付近の雨について、気象庁のレーダとMPレーダがそれぞれどのように雨を捉えていたのかをお見せします。左側が気象庁のレーダで10分ごとの雨量の分布の様子です。右側はMPレーダの観測結果で、5分ごとの様子です。紫色のところは、降雨強度が80ミリを超えるところです。同じ時刻の雨量分布ですが両者に違いがあるのがお分かりかと思います。

1時間雨量 気象庁レーダアメダス解析雨量との比較



この図は、1時間の積算雨量の分布です。左側がレーダアメダス解析雨量、右側がMPレーダです。図の●は、練馬、大手町、世田谷の気象庁アメダスの地上の雨量計観測点です。MPレーダでは、雑司ヶ谷の南東に、1時間当たり100ミリを超すような強い雨量分布が求められています。丁度、アメダス地上雨量計の設置点の間に降っています。一方、気象庁のレーダアメダス解析雨量では、残念ながらこの強い雨域をとらえていません。MPレーダは、500メートルごとに雨量情報が得られるので、あるポイントでの雨の降り方を調べることができます。雑司ヶ谷で

雨の降り方を見てみると（中上図）、12時過ぎぐらいには1時間に108ミリというものすごい強さの雨が瞬間的に降っています。その後も50ミリ以上の非常に強い雨が1時間近く続いています。雨の最も強かったところでは、どうだったかを見てみると（中下図）、瞬間値ですが、1時間あたりに換算すると150ミリという雨が午前11時半頃に降っています。このようにMPレーダは、500メートルメッシュごとの過去の雨の降り方を5分間ごとに求めることに成功しています。



雑司ヶ谷の例では、利用できる地上雨量計が限られているために、MPレーダの雨量情報を検証するのはなかなか難しいのですが、これまで5年近く観測を続けていて、いろいろな事例でMPレーダ雨量の精度の良さは確かめられています。

MPレーダの成果を元にして、次のようなことができるかということで、現在、X-NETという計画を進めています。X-NETというのは関東地方の複数の研究所と大学が共同で進めているXバンド（波長3センチ）の気象レーダネットワークです。図は、レーダの配置と観測範囲です。防衛科学技術研究所のMPレーダの設置点は、赤く塗りつぶした四角です。中央大学、防衛大学校、今年から参加した気象協会のドップラーレーダの設置場所は、黄色い四角で示した所です。現在、これらの5台の研究用レーダがネットワークで結ばれて、そのデータがリアルタイムでつくばの防衛科学技術研究所に送られています。X-NETの特徴は、雨の情報に加えて、青色で囲んだ領域では風向・風速の分布がリアルタイムに求まる点です。今後の計画ですが、電力中央研究所（我孫子）もMPレーダを導入する予定です。それからもう1台、私たちのMPレーダを2009年に、一時的に北関東に設置する予定です。



X-NETは、いろいろな研究所がそれぞれ独自に予算を持ち寄って実施している研究です。X-NETのゴールは、シビアストームの発生や発達メカニズムの解明、都市型の水害や土砂災害のナウキャストシステムを開発するために必要な、高空間分解能の風と雨の情報をエンドユーザーへ、防災担当の人、研究者になりますが、提供することです。

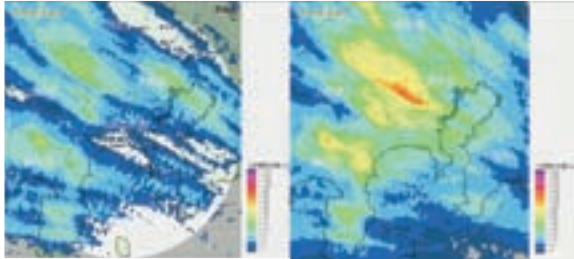


X-NETの対象エリアは、東京都庁を中心にして半径50キロのエリアです。図の半透明の赤い円内です。の中には東京23区（人口850万）、横浜（360万）、川崎（130万）などのいわゆるメガシティが5つほどあります。円内の全人口は約3,000万人で、カナダの総人口とはほぼ同じです。毎朝の通勤・通学で交通機関を利用している人は約1,000万という、世界でも特異な人口密集地帯です。

X-NETのプロダクト例：実効雨量

1.5 時間実効雨量

72 時間実効雨量

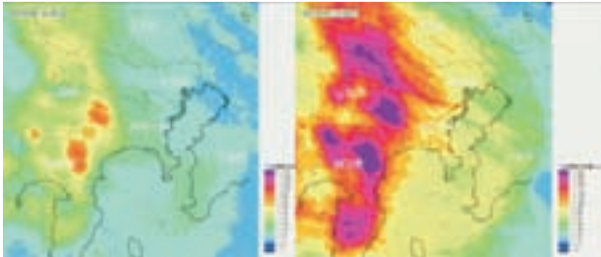


(00:00 - 24:00, Sep 6, 2007)

X-NETのプロダクト例：実効雨量

1.5 時間実効雨量

72 時間実効雨量



(00:00 - 24:00, Sep 6, 2007)

先ほど島村所長の講演の中で、土砂災害危険度の予測に実効雨量が使われるというお話がありました。実効雨量とは、繰り返しになりますが、地中に蓄えられる水の量で、がけ崩れが起きやすいかどうかという指標になります。X-NETでは、1.5時間と72時間の2種類の実効雨量を作成しています。72時間実効雨量は、過去に降った雨がどのくらい地中に溜まっているかという量です。1.5時間実効雨量は、直近の雨がどれくらい地中に染み込んでいるかという量を表します。通常この2種類のデータから、がけ崩れの危険度を推定します。図の例では、特に神奈川西部の山地で72時間と1.5時間の実効雨量が多くなっており、がけ崩れのおそれがあるということが分かります。

X-NETのプロダクト例：風向風速分布

4台のレーダで捉えられた寒冷前線通過時の高度1kmでの風の変化 (2008年2月12日)



1台のドップラーレーダでは、動径風しか求めませんが、X-NETでは、複数台のドップラーレーダの動径風を合成することにより、風向・風速の分布がリアルタイムで得られます。図は4台のレーダでとらえた寒冷前線通過時の高度1キロの風の変化です。風向・風速は矢羽根で示しています。風の強いところを色分けして示しています。赤いところほど強い風が吹いています。こういうものがほぼリアルタイムで5分ごとに見られるようになってきています。

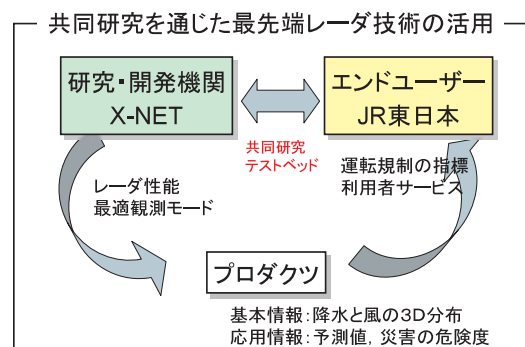
X-NETの特徴

- 豪雨、強風、(雷)情報の即時的配信
- 高時空間分解能 (500m, 1～5分間隔)
- 地上付近の観測 (高度1km以下)
- エンドユーザを意識したプロダクト
- 首都圏をテストベッドにした観測

X-NETの特徴をまとめますと、まず、豪雨、強風の即時的配信があります。ここでは紹介しませんが、MPレーダから得られる偏波パラメータ情報を使うと雷の検出も可能になってくるかもしれません。これは今後の課題です。それから高時空間分解能、具体的には500メートルごと、1分から5分間隔で、雨と風の情報が得られることが挙げられます。また、地上付近の観測、具体的には高度1キロ以下の現象を観測できることもX-NETの特徴になっています。

エンドユーザーを意識したプロダクトをつくりましょうということもX-NETの特徴です。単に豪雨や強風の情報を求める技術開発だけではなく、その情報がどのような分野で生かされるかということを意識しています。それから場所としては首都圏をテストベッドにしていることも大きな特徴になっています。

まとめ：JR東日本への期待



そろそろまとめの時間です。その前に、今日はこういう場所で講演をさせていただき、また、いろいろな方の講演を

聞かせていただいて、非常に参考になったことに感謝いたします。講演のまとめとしては、JR東日本への期待ということで締めくくらせていただこうと思います。私たち研究開発機関は、この図の左上に位置しますが、いま、X-NETの構築と利用に関する研究を進めています。JR東日本はエンドユーザー（左下の図）になります。JR東日本研究開発センターは、研究・開発機関にも入るのだらうと思います。X-NETでは、降水と風の分布をリアルタイムで求めることが目的です。その際、理工系の人が中心になりますが、作り出される情報がどのように利用されるかというところは、実はあまり意識しない場合があります。手法や技術の開発に成功したことに満足をして、論文を書いて終わりという場合が間々あります。そうならないためには、研究機関とエンドユーザー間で、双方向の連絡をとりながら、それをフィードバックしてプロダクトに生かすという研究の進め方が求められます。X-NETのプロダクトは、鉄道の運転規制や乗客へのサービスといった分野での利用が大いに期待されます。

これまでJR東日本研究開発センター・防災研究所の島村所長とは、共同研究のための勉強を始めているところです。今後、より具体的で緊密な連携を図っていければと思います。



真木 雅之 氏

独立行政法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部長
筑波大学連携大学院教授

1954年、愛媛県生まれ。1983年北海道大学大学院理学研究科修士課程（地球物理学専攻）を修了し、北海道大学理学部助手を経て1985年に科学技術庁国立防災科学技術研究所（現、独立行政法人防災科学技術研究所）へ入所。入所以来、気象レーダの開発、気象レーダを用いた自然災害の研究に従事。1989年-1990年には米国国立シビアストーム研究所でドップラーレーダの研究を、1998年-2000年にはオーストラリア気象局気象研究センターで熱帯のスコールラインの研究に従事。2006年からは水・土砂防災研究部長、研究プロジェクト「MPレーダによる土砂・風水害発生予測に関する研究」のプロジェクトディレクター。現在に至る。2007年からは筑波大学連携大学院教授を兼任。

(荒井) ありがとうございます。いまお話いただいた中でマルチパラメータという紹介がありました。500メート

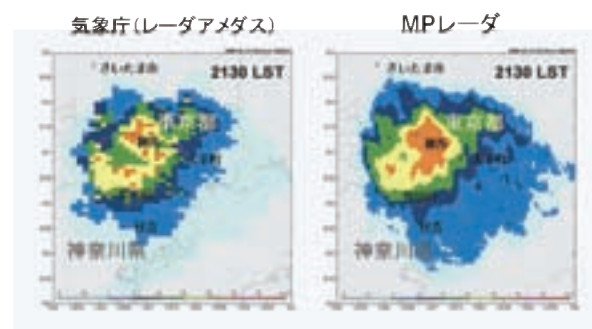
ルメッシュ、非常に精度の高い測定ができるということでした。一部お話にありましたが、雨量計との関係について、数値、雨量の精度と、場合によっては雨量計も必要なくなるのかという点は非常に関心があるのですが、その辺はいかがですか。

(真木) この研究は2001年頃から始めています。いまのお答えとしては、豪雨の監視という観点からは、私は雨量計が要らないと考えています。これまでのレーダ雨量推定についての常識を覆すようで、こういう場所で発言するのはかなり勇気がいるのですが。少し詳しく説明しますと、Xバンドのレーダにしる、気象庁が使っているCバンドのレーダにしる、雨滴粒径分布の変動や降雨減衰の影響があります。それを正しく補正しない限り、正確なレーダ雨量は求まらないというのがこれまでの常識でした。それで地上の雨量計で補正をするという方法が用いられます。学会で、レーダから推定した雨量分布を議論する場合、地上の雨量計で補正したのかということを必ず問われます。

ところが、これは私も最初驚いたのですが、MPレーダ観測から雨量情報が得られるようになって、インターネットで提供されているアメダス雨量計と比較したことがあります。ちゃんとした比較ではなく、観測をしながらの比較でしたが、マルチパラメータレーダは良く合っているのです。それは、いまから5年ぐらい前の話ですが、その時の直感として、雨量計の補正無しで正確な雨量が求まる、それもXバンド波長で、がありました。その後、顕著な豪雨の例で、実際にグラフをかいて地上の雨量計と比較するとよく合っている、驚くほど合う場合があります。

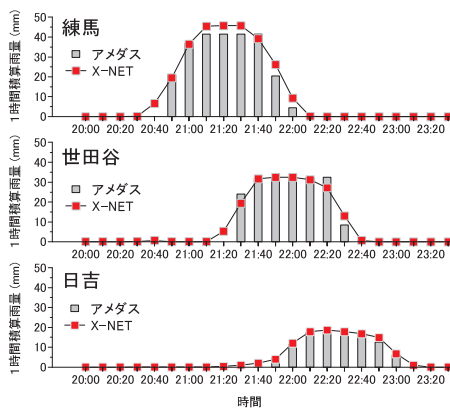
最近の例を1つご紹介します。先ほどの雑司ヶ谷の例は、検証用の地上雨量計が十分ではないので、今年、2008年7月29日の豪雨の例について紹介します。皆さんまだ記憶にあるでしょうか、北京オリンピックに向けての、日本代表チームとアルゼンチンとのサッカーの親善試合が、試合終了まで残りわずかのときに、豪雨と雷で中止になった事例です。

2008年7月29日 ゲリラ豪雨 気象庁との比較



そのときの雨の降り方がこの図（アニメーション）です。右側がMPレーダで、赤いところで強い雨が降っています。

10分ごとのデータですが、強い雨域が南下していき、国立競技場上空を通過していきます。左の図は、同時刻の気象庁のレーダアメダス解析雨量です。レーダアメダスは30分ごとの更新で、メッシュサイズは1キロです。両者を比較してどうでしょう。全体的なパターンは似ていますが、細かいところを見ると合っていないところもあります。



この例では強い雨が練馬、世田谷、日吉の気象庁のアメダス雨量計観測点を通過しています。この3ヶ所でMPレーダ雨量を地上雨量計のデータと比較してみました。横軸の時間は、20時から23時20分です。棒グラフは、アメダス雨量計の1時間雨量で、10分ごとに書いてあります。赤い四角がマルチパラメータレーダの雨量です。練馬では40ミリ近い非常に強い雨が観測されています。MPレーダと地上雨量計を比較すると、20時40分頃には少し違いがありますが、それ以降は見事に合います。1ヶ所だけかというそうではなくて、世田谷でも30ミリくらいの雨が降っていますが、見事に時間的にも量的にも両者は良く合っています。そして、日吉についても合っています。こういう比較結果から、マルチパラメータレーダは雨量計の補正を必要としないと言っています。もちろんマルチパラメータレーダでもまだ解決しないといけな問題はあります。ただ、その場合でも、雨量計を必要としない方法で可能だと考えています。

2.2 航空機の運航における気象・地象防災への対応

(荒井) 次に、私どもは国鉄時代から鉄道気象ということで関係機関といろいろ勉強を重ねてきましたが、航空気象という面からJALの藤堂さんにお話を伺いたいと思います。よろしくお願ひ致します。

(藤堂) ただいまご紹介いただきました、大人の休日倶楽部会員の藤堂です。日頃、鉄道旅行を楽しんでいます。日本航空で航空機の運航管理と航空気象、それから火山などの地象に関する分野を長年担当しています。鉄道輸送とは運航形態が異なっていますが、公共交通機関の1つとして、航空分野で気象、地象など自然災害への対応をどのように行っているのかにつきましてご紹介したいと思います。

ます。どちらかというとハードよりもソフト、エンドユーザーとしての状況をご紹介します。これが何らかの形で鉄道輸送の防災対策にお役に立てればと思っています。

航空機の運航に気象情報がなぜ必要か？

1. 力学的要件

- 航空機は、空気を押し出して前へ進み翼に風を受けて揚力を得て飛行が成り立つ。
- そのため、地球を取り巻く大気の状態、即ち、気象が常に大きく影響を与えている。
- 航空機の運航を行うに当たっては時々刻々と変化する大気の状態に的確に対応する

2. 法的要件

1. 航空法 : 機長出発前確認事項
 1. 航空機が航行に支障がないこと
 2. 運航に必要な準備が整っていること
2. 航空法施行規則 : 機長出発前確認詳細項目
 1. 当該航行に必要な気象情報
 2. 航空機の整備状況、重量・重心位置
 3. 航空情報、燃料、搭載物の安全性、その他

3. 企業要件

- 会社の運航規程に定められた「**運航の基本方針**」を遂行するため



航空会社の紹介につきましては皆さんご存知ですので省略しますが、飛行機が飛ぶのになぜ気象情報が必要なのかにつきまして復習の意味でご紹介します。まず大きく分けて3つあります。

1つは力学的要因です。何百トンという重さの飛行機が空を飛ぶ、いまだにわからないという人が航空会社の中にもいます。エンジンに空気を吸い込んで後ろへ出す、その力で前へ進む、それによって翼に風を受けて揚力が出るというこの計算式を地でいく力学を本当に実証しています。それで浮くということですから、地球を取り巻く大気の状態、気象から常に影響を受けています。この気象というのは時々刻々と変化していますので、その時々に応じて的確に対応しなければいけないということが最大の理由です。

2つ目としては法的な要因です。航空機を飛ばすためには安全でなければいけません。航空法およびその関連規則に出発前に確認をする項目の1つが気象情報です。

それから企業としての要件があります。会社の中に運航規程というルールがあり、この中に運航の基本方針があります。それを守るために気象が絡んできます。

航空会社が定めている航空機運航の基本方針

・ 安全性 — 最優先の命題

- 飛行の準備からその終了までの運航の全行程に亘って、絶対安全を堅持すること

・ 快適性

- お客様に不快感や不安感を与えるような飛行を可能な限り回避
- 安心・快適な飛行を追求すること

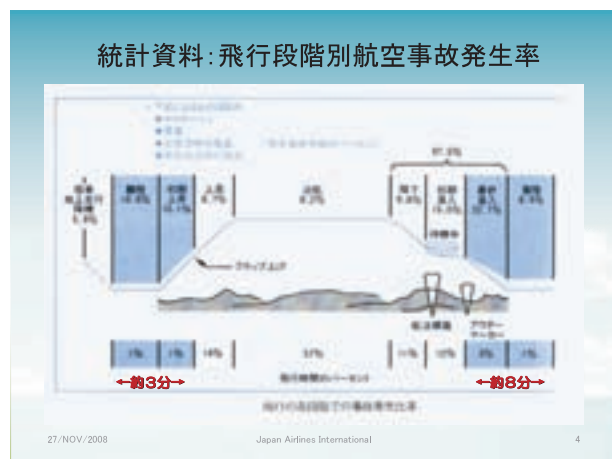
・ 定時性

- 定刻出発への最大限の努力
- 自らの理由による到着の遅延の可能な限りの防止または軽減

・ 効率性

- 飛行時間短縮およびより燃料消費量削減のバランス良い追及
- 地球環境・温暖化へ配慮し、時間や資源の無駄遣いの削減

ではどういう基本方針があるかと申しますと、大きく分けてこの4つです。何が何でも安全です。飛行の準備から終了まで、絶対安全を守るということを最優先にしなければいけない。その次に空中に浮いていますので、どうしても揺れやすいために快適性です。不快感、不安感をなくするような飛行をしなければいけない。それからやはりスケジュール運航を行なうので定時性です。極力、遅れてはいけません。空中に浮いていますから、到着時刻を守るというのはなかなか難しいのですが、遅れはなるべく軽減をしようと。それからやはり運航の効率性です。飛行時間は短く、燃料消費は少なくという資源への対応もありますし、地球環境への対応もあります。このあたりの4つを基本に追求しており、これらが全て気象に絡んでいます。



では安全というところをもう少し深く見てみると、これは過去の統計で、どういうときに航空機の事故が起きるかというグラフです。57%と表の下の方にありますが、大半の飛行時間は巡航に当てられています。離陸のときに約1%、走り出してある程度の安全な高さまで達するのが1%、約3分間です。ここに事故のうちの20%以上が集中しています。それから着陸前、最終進入から着陸、止まるまでの4%、時間にして8分間です。ここに30%以上の事故が集中しています。ですから離陸のとき、着陸のときを合わせて50%以上が3分足す8分の11分という時間に集中しており、航空界ではクリティカルイレブンミニッツと呼ばれており、一番注意しなければいけないと言われています。

面・線・点で見た気象と運航(運行)

◆ 航空機の運航

- ◆ 面 : 飛行空域
- ◆ 線 : 飛行経路(立体的な線)
- ◆ 点 : 空港
- ◆ 特徴: 地上の天気の影響するのは空港のみで、大半は上空の天気が大きく影響するので、広い領域となる。地象の影響は空港だけ。



◆ 列車の運行

- ◆ 面 : 走行地域
- ◆ 線 : 線路(平面的な線)
- ◆ 点 : 駅
- ◆ 特徴: 総て地上の天気および地震などが影響する。



27/NOV/2008

Japan Airlines International

5

交通機関では気象を、面と点と線で通常よく見えています。それを航空機と列車で少し比較してみます。航空機の場合、非常に広い範囲、立体的に飛ぶので飛行空域全部が面になり、線となると飛行コースです。これも地上から上へ上がるので、立体的な線となります。それから点というのは非常に少なくて空港だけです。従って、地上の天気の影響するのは空港のみであり、大半は上空の天気ということで、広い範囲を見なければいけません。地上の天気を追いかける地上気象に比べると非常に対象が広がっています。

列車の場合に難しいのは、走行する地域が全部面であり、線路が線でありますので、平面上を避けることができません。飛行機は浮いていますので、立体的に避けることができますが、列車は避けるためには、止まるか行くかということです。ので、いろいろな悪天への対応は違ってくると思います。

離着陸時における気象の影響

・ 気象条件

- 空港の気象状態が、最低離陸・着陸気象条件を満たしていないと離着陸を行ってはいけません

・ 影響を与える気象要素

- 風 : 向い風が離着陸の原則。追い風・横風・強風は運航制限あり
- 視程 : 滑走路の中心を視認し続けるため必要。悪い視程では離着陸禁止
- 気温 : 高温は空気が薄くなり、エンジン性能やブレーキ性能に影響
- 気圧 : 空気密度であり、エンジン性能に影響
- 路面 : 降水現象による滑り易さが影響 → 運航制限あり
- 総合的に、最大離着陸可能重量・必要滑走距離に影響

・ 離着陸時に航空機が影響を受ける悪天現象

- 着氷 : エンジン・翼・窓等の凍結→機能停止・失速・速度不明
- 被雷 : 機体損傷・装置故障→回避できない激しい雷雨は離着陸禁止
- マイクロバースト : 発生時は離着陸禁止
- ウィンドシアア : 強いウィンドシアア時は離着陸禁止
- 火山灰 : 機体・エンジンの損傷、装置故障→必須で回避

27/NOV/2008

Japan Airlines International

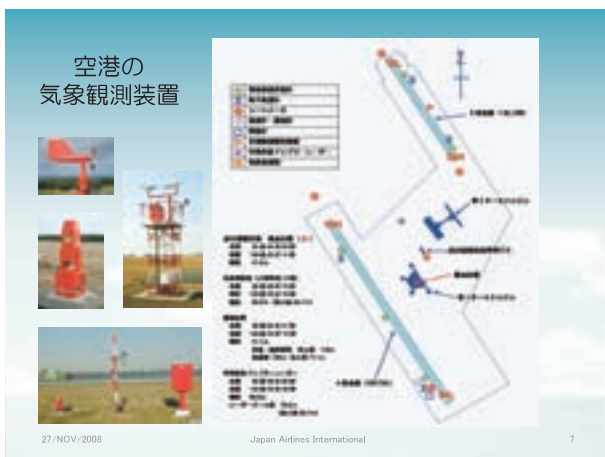
6

では飛ぶとなるとどのような気象の影響があるかについて、まずは一番事故が多い離着陸での影響を見てみましょう。航空機が離着陸を行うためにはまず最低条件があって、こういう気象状態では離陸も着陸もそれぞれやってはいけないという条件が定められており、これは空港ごとに違い、空港の滑走路のどちらを使うかによっても、どういう飛び方をするかによっても、飛行機の種類によ

でも、それから航空会社によっても違います。また、機長の操縦の経験時間などによっても違ってきます。同じ日に同じ区間を飛ぶとしても、1便、1便、最低気象条件が違ってることがありますので、便毎にその値を確認しています。

いざ離着陸を開始すると、滑走路を外れないよう真っ直ぐに走って飛び上がったり、止まったりしなければいけませんので、一番影響があるのが風です。揚力の創造を容易にするためには基本的に向かい風が離着陸の原則であり、追い風、横から来る風、強風、変動する風、こういうのは運航制限があります。滑走路の幅は大きな空港で60メートル、一般の地方空港ですと45メートルしかありません。飛行機の離陸速度では1秒間に60から70メートル走りますので、あっという間に中心線からずれて滑走路から飛び出してしまうので、非常に重要な要素です。また、もし霧が出て前が見えなくなると、走っているときにいま滑走路を走っているのかわからなくなるので、ある程度の視程は求められています。それから気温とか気圧もエンジン性能、ブレーキ性能に影響が出てきます。滑走路の路面の状態、雪が積もったり凍りついたりしますと滑りやすくなって制限が出てきます。それによって飛行機が飛び上がれる重さの制限、滑走距離が長くなるなどの影響が出てきます。

悪天現象の1つとして、着氷性の降水などの現象があります。機体に氷が着くことにより、揚力が減少したり、エンジン停止に至る危険があるため、離着陸に制限があります。また、雷現象、マイクロバーストと呼ばれる非常に強い突風を伴った下降噴流、ウインドシアと呼ばれる風向風速の急激な変化なども離着陸が禁止される悪天現象です。それから、火山からの噴出物も航空機の運航に大きく影響を与えます。火山灰の中に入ると、窓ガラスに傷が入って前が見えなくなったり、エンジンが止まったり、スピードがわからなくなったりするので、火山灰があったら離着陸は禁止、飛行は禁止となります。

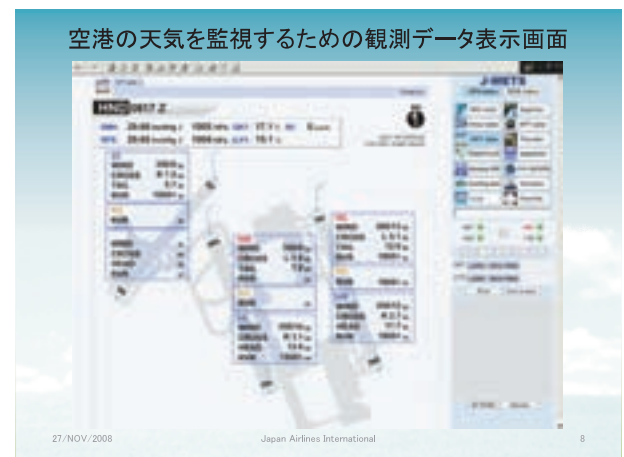


これだけ気象が離着陸に影響がありますので、空港がどのような気象状況かを知らなければなりません。航空の場合は航

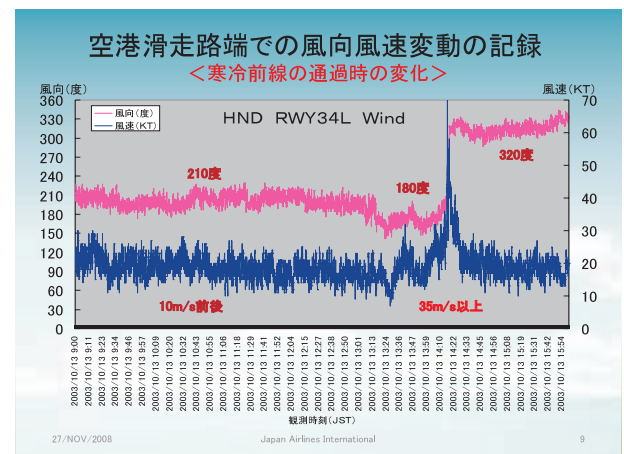
空会社が独自で観測をすることは基本的にありません。お客さまからいただいた航空運賃から一定の割合を国庫へ納め、これは空港整備特別会計という財源になり、これを利用して航空のための気象設備の整備も行われています。これは成田空港の図ですが、風向風速計や視程計、上空の雲底高度をはかる装置など非常にたくさんの装置が空港にあります。

左に示したこのような装置が滑走路の横周辺に設置されていますので、航空機をご利用いただくときには窓からご覧いただけるかと思います。

以上は基本的な観測設備ですが、やはり突風対策、積乱雲対策にはこれだけでは十分ではありませんので、新しい装置として、ドップラーレーダやドップラーライダーなどが一部の空港に追加導入されています。



しかし観測データだけでは状況がどうなっているかわかりにくいので、航空会社にリアルタイムに提供されているデータを独自のシステムに取り込んで判りやすく表示させています。これは私どものシステムの中での表示例です。空港のどこでどういう風が吹いて、どういう雨が降って、気温がどうだということを全部リアルタイムに表示しています。各要素別に1時間の変化をグラフ表示できるようになっていて、運航している国内全ての空港の状態が各空港でも見られますし、東京の運航管理のセンターでも刻々変化する状況を監視できる環境を構築しています。



例えば風の変化というのも非常に重要であり、寒冷前線が通ったときにどれくらい風が変化をするかというのを参考例でお見せします。これは、羽田空港を西から東へ非常に活発な積乱雲が通ったときの風向と風速の変化です。縦軸は風向および風速、横軸が時間軸で、左から右へ時間が経過しています。ピンク色が風向です。雨雲が近づいて来ているときには約210度方向からの南西風が吹いていましたが、前線が近づいたときに180度真南に変わり、その後短時間に320度方向からの北西風に変わっています。ほんの1分から2分ぐらいの時間幅です。このときの風速は平均10メートル前後が小刻みに変化をしていますが、寒冷前線が通るときには瞬間的に35メートル以上の突風が吹いています。これが1～2分で通過してまたもとに戻りました。

この瞬間に離着陸が重なると大変危険な状態になります。この状況にどう対応するか。観測装置では発生したことしかわかりませんので、起きてからでは遅いのです。いつ運航に危険な風が吹くかという予測を何らかの方法でしないと安全につながりません。その対策の1方法としてレーダーがありますが、後ほどご紹介をします。

飛行中における気象の影響

・ 影響を与える気象要素

- 風 : 向い風は対地速度の減少 → 遅延・燃料消費増
- 追い風は対地速度の増加 → 早着・省エネ
- 風向・風速の急変は乱気流の原因
- 気温 : 性能に影響 → 高温は性能低下
- 安定層（逆転層）や気温急変は乱気流の原因
- 雲 : 乱気流・機体着氷の可能性
- 有視界飛行の障害（雲中飛行は不可）
- 雨雲・積乱雲・特殊な高層雲に注意

・ 飛行中の航空機が影響を受ける悪天現象

- 乱気流 : 搭乗者の不快・不安・危険・怪我と機体の損傷
- 着氷 : エンジン・翼・窓等の凍結→機能停止→失速、速度不明
- 被雷 : 機体損傷・装置故障→飛行の安全低下
- 火山灰 : 火山噴出物は必須で回避→エンジン停止・機体損傷
- 飛行速度・飛行高度・飛行姿勢・燃料消費率などが変化

27/NOV/2008

Japan Airlines International

10

次に飛行中の影響についてご紹介します。基本的には風が大きく影響しますが、特に、飛行中で一番怖いのは乱気流です。ご搭乗いただいたときに何度かご経験されていると思います。なるべく揺れないようにと努力していますが、空気の動きは基本的に目に見えませんが、それを予想資料だけで把握することはなかなか難しく、一番の大きなテーマです。どうしたら揺れを少なくして飛行できるのか、揺れてもどうしたらご搭乗いただいている皆様に不安を与えず、また、怪我を防止できるかを課題に気象の情報を有効に活用しています。それから雷、火山灰も同様に影響があります。

飛行制限を受ける気象状態および現象

1. 霧などによる低視程の状態
2. 低い雲による低雲底高度の状態
3. 強風（追い風・横風・変動風）・突風
4. 激しい雷雨・強雨
5. 着氷性の現象（雨・霧雨・霧・雲）
6. ウィンドシアー（低高度での風の急変）
7. ダウンバースト（積乱雲下降噴流現象）
8. 乱気流（雲中・晴天・山岳波など）
9. 火山灰

27/NOV/2008

Japan Airlines International

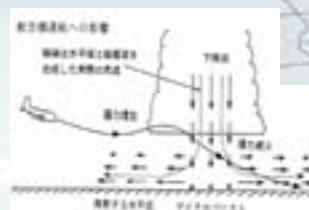
11

航空機の運航に制限を与える現象としては、一般には霧などの視程が悪い状態、滑走路が見えない低い雲の状態、それから風については強風、特に追い風、横風、変動風、突風などがあります。雷雨も非常に危険です。今年は非常に雷雨が多く、国内の幾つかの空港で滑走路上に雷が落ちて大きな穴があき、空港が使えなくなったということが何度かありました。空港は雷が落ちやすい場所としてある意味で有名ですので、飛行機のみならず地上作業も、雷雨が近づきますと作業をやめるという判断が必要になってきます。

着氷性の現象、ウィンドシアー、ダウンバースト、乱気流、それから火山灰も運航に制限を受けます。

離着陸時のダウンバースト現象による影響

ダウンバーストの種類 ・ マイクロバースト ・ マクロバースト



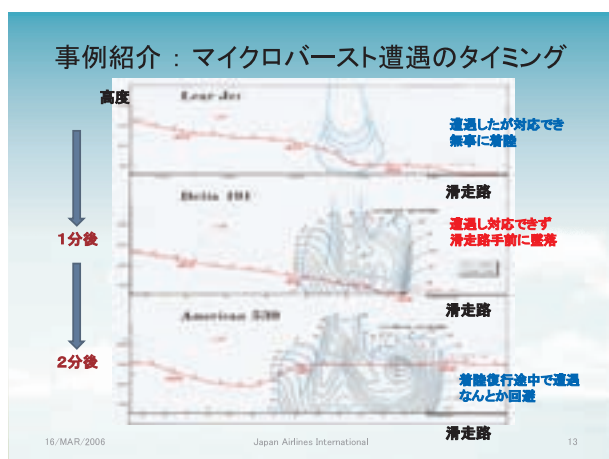
27/NOV/2008

Japan Airlines International

12

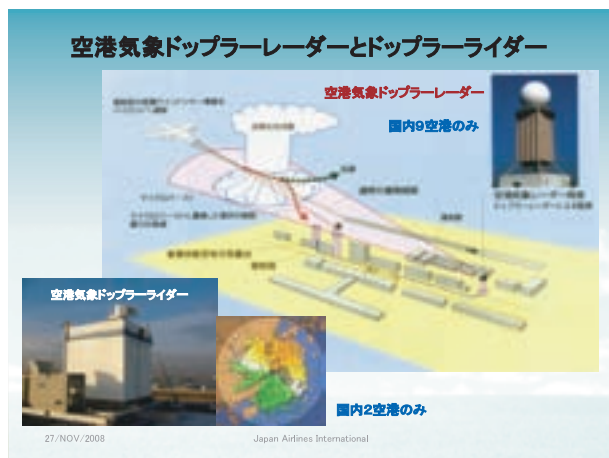
これがダウンバーストの模式図で、積乱雲から地上にたたきつけるような下降流が出て、これが地上にあたって四方八方に広がるという現象です。これに離陸、着陸時に遭遇すると、速度に余裕が少なく、また、高度が低い状況のため、揚力を少しでも失うことは危険です。これはそう何分も続く現象ではないので、あるタイミングでこれを避けられるかどうか大きな判断になります。

事例紹介：マイクロバースト遭遇のタイミング



アメリカで起きたマイクロバーストに遭遇した事例をご紹介します。ある空港の手前、約3kmくらいのところにダウンバーストが積乱雲から降りてきて、地上にぶつかって広がりました。ちょうど地上に達する頃に着陸をしようとしていた飛行機がそこに入り、揚力を失って高度を落としたのですが、何とかエンジンを吹かして高度を確保して、ぎりぎり滑走路へおりました。しかしこの1分後に同じところを飛んできた飛行機は一番風の強い状態に入り、これはもう回復ができずに、空港の手前、大体1.5kmくらいのところの地上にたたきつけられて、大変大きな航空事故になりました。この2分後に同じ状態で来た飛行機は、目の前の状況を理解し、最終進入をやり直す操作を行いました。マイクロバーストに伴う下降風に入り影響を受けたものの、何とか高度と速度を維持して難を逃れることができました。本当に1分、2分のちょっとした違いでこういうことが起きます。これは起きてからでは遅いので、どうやって早目に見つけるかというのが大きな課題です。

空港気象ドップラーレーダーとドップラーライダー

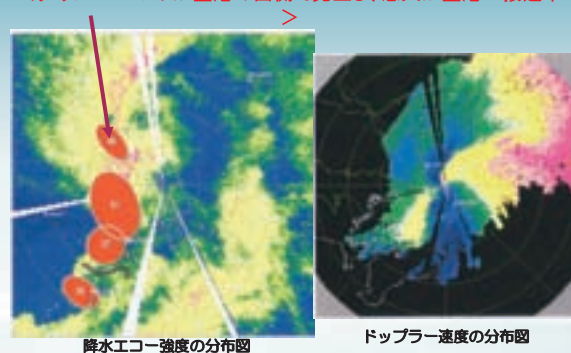


この対策のためには空港には、先ほどご紹介いただきましたドップラーレーダを、国内の実運用としてはおそらく最初ではないかと思いますが、10年以上前に導入を開始して、現在主要な9空港に設置され運用されています。滑走路近くの低い高度でのマイクロバーストやガストフロントという非常に強い突風の状

態を監視して、これが飛行コースに重なりと飛行機へ管制塔から警報が伝えられるようになっています。ただ、年間を通して雨が降るのはそれほど多くはありません。雨粒がないとレーダは使えないのですが、晴れている日でも気流の乱れは発生します。そこで、晴れた日でも気流の乱れを少しでも見ようという目的で、最近光を使ったドップラーライダーというものを羽田と成田の2つの空港に導入して、運用されています。

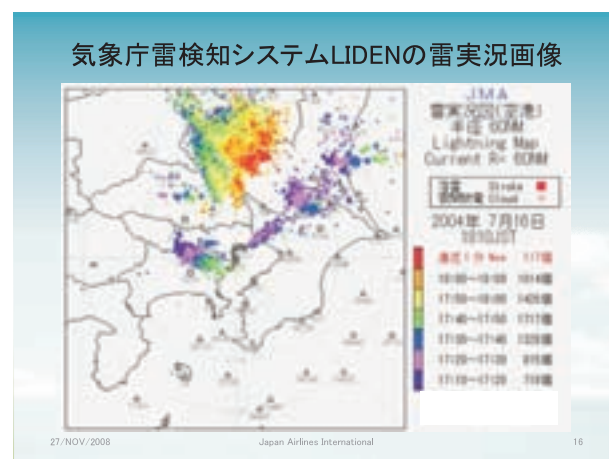
悪天時の空港ドップラーレーダーの観測画像

＜ダウン・バーストが空港の西側で発生し、悪天が空港へ接近中＞



1つの事例をご紹介しますと、これが実際に成田空港に発達した積乱雲が西から近づいてきて、ダウンバーストが起きたときのドップラーレーダーの画像です。左側の図が降水エコー強度（雨雲の強さ）をあらわす画像、右側がドップラー速度という画像で、このときは成田空港周辺のゴルフ練習場のネットが壊れたり、竜巻が起きたり、小屋が飛んだりしました。赤い丸がダウンバーストと言われる現象でこれが離着陸経路にかかって、そこに飛行機が入りますと非常に危険な状況に陥ります。

気象庁雷検知システムLIDENの雷実況画像



それから雷も怖いのですが、これは気象庁が航空用に整備している雷のシステムです。北関東を中心に雷が観測されており、これを見ると1分間に100個以上、10分間で1,000個以上です。それくらいものすごく雷が起きています。同じ時間でも非常に範囲が広がっているの、いつどこに落ちるかという予測は非常に難しい状況です。このような情報も活用しています。

飛行への火山灰の影響

■ 航空機

- 機体の損傷・エンジン停止・速度計等センサー故障

■ 飛行空域

- 飛行経路の変更・空域回避・巡航高度変更

■ 滑走路面

- 降灰による路面摩擦係数の悪化

■ 視程障害現象

- 視認性の低下

■ 火山灰情報の現状

- 世界的な火山灰監視体制を構築
- 情報収集が迅速・的確となった
- 自社による火山監視
 - 桜島に地震計および空振計を設置



27/NOV/2008

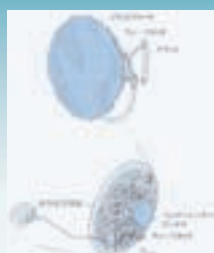
Japan Airlines International

17

それからもう1つ怖いのが火山灰です。火山灰を見たら逃げる、入ったらUターンをして帰るとするのが鉄則でして、火山灰で飛行機のエンジンが全部止まったことが過去に外国で何回かあります。幸いなことに高度を下げる中でエンジンを再スタートでき、何とか近くの空港に降りることができました。墜落をしたことはまだいまのところありませんが、非常に怖い現象です。

航空機による気象観測

- ・ 観測している気象要素
 - 気圧
 - 気温
 - 雨雲 : 機上レーダー
 - 湿度 (センサー装備航空機のみ)
- ・ 計算で得られる気象要素
 - 風向・風速
- ・ 観測センサー・機上設備の精度
 - 風速誤差 : 1.8m/s以内
 - 気温誤差 : 0.5℃以内
- ・ ラジオゾンデ (風船) 観測データとの比較 (RSM)
 - 風向誤差 : 7.4度以内
 - 風速誤差 : 5.3m/s以内
 - 気温誤差 : 1℃以内68%、2℃以内94%



27/NOV/2008

Japan Airlines International

18

地上のそういうデータだけでは安全に飛行できませんので、飛行機が飛んでいるときはいつも周りの気象データが必要ということで、飛行機にも自分で観測できるレーダーなどの観測装置が付いています。気圧、気温、雨雲、それから風向・風速ももちろんリアルタイムで常に操縦席で分かるようになっています。

ACARS空地データ通信網



27/NOV/2008

Japan Airlines International

19

これは非常に観測精度が高いもので、こういう精度の高いものを常時飛行機の中だけで使うのはもったいないということで、数年前からこのデータを気象庁にデータ通信ではぼりアルタイムにお送りして、数値予報のための観測データの1つとして利用していただいています。

所属航空機の運航を管理している組織 OCC(オペレーションコントロールセンター)

1. スケジュール統制 (Operations Control)
2. 危機管理業務 (Risk Management)
3. 運航管理業務 (Flight Dispatch)
4. 航空機機材運用 (Maintenance Control)
5. 乗務員乗務割調整業務 (Crew Scheduling)
6. お客様サポート (Customer Support)



27/NOV/2008

Japan Airlines International

20

最後になりましたが、当社の運航管理の組織を若干ご紹介します。オペレーションコントロールセンターと言いまして、どういうことをやっているかといいますと、航空機の運航が正常に行われるようにスケジュール統制、運航の危機管理、航空機の運航管理、飛行機が遅れたり故障した場合にどうするかという機材の運用、運航乗務員・客室乗務員の勤務管理、お客さまへの運航情報提供などのお客さまサポートなどを行っています。

航空機の運航管理(ディスパッチ)

航空機運航管理業務

- 所属の航空機が飛行計画に従い、安全かつスケジュール通りに運航できるよう地上から情報提供等の支援業務

運航管理基地 (OCC) の役割

- 運航に必要な情報の収集
- 飛行計画の作成
- 飛行実施の確認
- 飛行状態の監視
- 気象変化の監視
- パイロットへの飛行支援

空港の役割

- 運航情報の収集
- 運航管理の補助
- 航空交通管制機関への飛行計画書の提出



27/NOV/2008

Japan Airlines International

21

この中で運航管理というのは、飛行計画通り安全かつ予定通り飛ぶように地上からいろいろな情報をパイロットに提供して運航を支援をする業務です。いろいろな必要な情報を集める中に、気象情報も入っています。飛行計画をつくり、出発前にパイロットと実施についてお互いに相互確認を行い飛ばす。飛んでいるときにはいろいろな情報を提供して、安全な運航を維持するための支援を行っています。

飛行計画(フライトプラン)の作成

1. 運航実施の可否判断: 飛行場の気象情報

- 離着陸可否基準である最低気象条件を満足するかを確認
- 飛行場およびその周辺域に悪天現象が存在するかを確認
 - 対象空港 : 出発空港・到着空港・目的地の代替空港
 - 飛行経路沿いの緊急着陸用空港

3. 運航実施の可否を判断

2. 最適飛行経路と巡航高度の選定: 飛行空域の気象情報

- 飛行時間が最短となる飛行経路を算出
- 消費燃料量が最少となる巡航高度を算出
- 航路上の風・気温分布および悪天予想状況を把握・検証

3. 飛行時間と消費燃料および必要搭載最少燃料量を計算

4. 最大離着陸可能重量および必要滑走路長を計算

5. 安全に離着陸および飛行ができることを確認

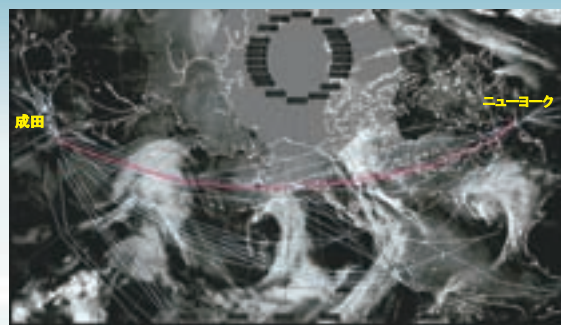
27/NOV/2008

Japan Airlines International

22

飛行計画にはいろいろな気象情報が必要です。飛べるか飛べないか、飛ぶとしたらどういうコースをどの高さで飛ぶのが一番いいのかを計算して、飛行時間はどれくらいかかり、燃料がどれくらい必要か、離着陸重量は制限重量を超えていないか、離着陸に必要な滑走距離は滑走路の長さを超えていないか、などを気象情報を利用して必ず確認しています。

飛行経路と気象衛星雲画像: 成田→N.Y.



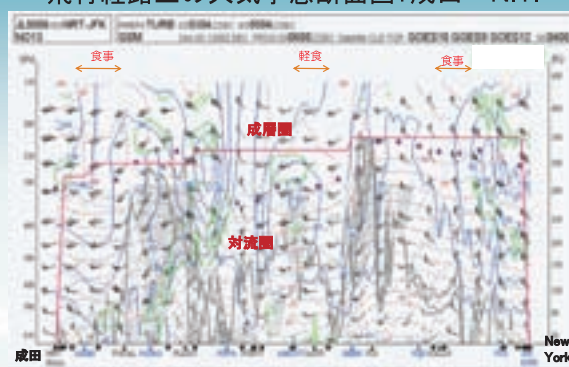
27/NOV/2008

Japan Airlines International

23

そのときに使うのがこのような独自に作った資料です。こういうのは気象庁から提供されませんので、独自でつくっています。これは成田からニューヨークまでどういう雲が分布しているかという図です。

飛行経路上の大気予想断面図: 成田→N.Y.



27/NOV/2008

Japan Airlines International

24

それからもう1つ、これは大気を断面にした図で、成田からニューヨークまで飛ぶのにどういう空気の中を飛ぶのかを絵で表したものです。これでどのあたりが揺れるのか、ジェット気流との関係はどうなのか、対流圏を飛ぶのか、成層圏を飛ぶのかというのが全部分かります。12時間の飛行の中でお食事サービス、お飲み物のサービスがありますので、通常の時間帯でサービスをすると揺れて危険だということが予想されると、この便については食事時間を30分遅くしましょう、早めましょうというのを飛行前にパイロットと客室乗務員が打ち合わせできるようにしています。この図も有効に活用されています。このような天気図を独自に航空会社が作成していることはあまりないようです。

飛行時間と消費燃料量の比較 (計画と実際)

・名古屋発 パリ行 直行便

- 機種 : B777-200ER 型機 飛行距離 : 約 10,200 km
- 飛行時間 : 11時間57分 燃料消費量 : 107,300 リットル (ドラム缶 約 537本)
- 巡航高度 : 37,000 フィート (約 11,280 m)
- 搭載燃料 : 14時間11分 飛行できる量
- 平均対気速度 : 毎時897 km 平均対地速度 : 毎時869 km
- 巡航中の風の影響 : 平均 毎時28 km (毎秒約8 m) の向かい風
- 飛行コース
 - ・中部 → 新潟 → 日本海 → ハバロフスク → シベリア平原 →
 - ・→ 北極海沿岸 → フィンランド → バルト海 → オランダ → パリ
- 注 : 上記データは実際に飛行した便のものです
- 結果 : 飛行時間11時間55分、消費燃料量106,060 リットル (約530本)

27/NOV/2008

Japan Airlines International

25

気象情報も広い範囲で見ると非常に正確になっています。名古屋からパリまで飛行機を飛ばした場合に、計画と実際とでどの程度違ったかをボーイング777という飛行機で比較してみますと、約10,200kmの距離を11時間57分かかって、ドラム缶約537本分の燃料を消費すると計算された飛行計画に対して、実際は高度10,000m以上を飛行し、ずっと向かい風を受けましたが、11時間55分で到着できました。また、燃料の消費量はドラム缶約530本分でしたので、時間差2分、燃料差ドラム缶約7本分を節約できました。12時間飛んでこれぐらいしか誤差がないくらい正確な飛行が計画できるようになっています。

最大離陸可能重量への空港気象状態の影響

- 使用航空機種 : ボーイング B747-400型機 (国際長距離路線用)
- 出発空港名 : 東京国際空港 羽田
- 離陸に使用する滑走路 : 34R (滑走路長 3,000m)
- 出発時の気象状態 : 無風・気温20℃・気圧1,013hPa (標準)
- 滑走路の路面の状態 : 乾いている状態

- この気象条件下での最大離陸可能重量 799,500ポンド (≒ 362,600kg)
- 気温1℃上昇 (21℃) 時の最大離陸重量 798,400ポンド (≒ 362,150kg)
 - 気温1℃上昇で約450kgの減少 = お客様 7人分の減少に相当
- 風0.5m/sの向かい風時の最大離陸重量 800,900ポンド (≒ 363,300kg)
 - 向かい風1ノットで約700kgの増加 = お客様 10人分の増加に相当
- 気圧1hPa低下時の最大離陸重量 799,000ポンド (≒ 362,400kg)
 - 気圧1hPa低下で約200kgの減少 = お客様 3人分の減少に相当

27/NOV/2008

Japan Airlines International

26

それから飛行機が離陸するのに気象の影響はどのようなものかというのを、羽田空港で国際線用のジャンボ機で計算しました。3,000メートルの滑走路で風がなくて20度の気温で、標準気圧で路面が乾いている状態だと、大体362.6トンの重さまで離陸できます。重いですね、これが計算どおり上がるのですから。でも気温が1度変わるだけでこの値が約450キロ小さくなってしまいます。0.5メートル向かい風が増えるだけで、約700キロ増えます。気圧1ヘクトパスカルでも200キロ。ですからこの読みを間違えますと、離陸しようとしている飛行機が離陸できなくなります。ですからあれだ

け何百トンという飛行機が非常にセンシティブだということをお分かりいただけるかと思います。

出発前の気象状況の打合せ

- 目的
 - 飛行計画の成立の確認
 - 最低気象条件と必要な量の燃料搭載
 - 運航の基本方針への満足度の確認
 - 運航の安全・お客様の快適性・運航の定時性・運航効率
- 確認の手順
 - 空港の気象状態の相互点検と確認
 - 関係する空港が離陸可能な気象状態であるか
 - 飛行経路上の気象状態の相互点検と確認
 - 飛行を予定している空域が飛行に支障が無い
 - 飛行計画書の点検と承認
 - 運航実施への障害がないことを相互に確認
 - 作成された飛行計画書 (フライト・プラン) に両者署名
 - 飛行計画を航空交通管制機関へ提出
- 両者の合意で飛行実施が成立
- 何れか一方でも不承認となれば、飛行実施は不成立

27/NOV/2008

Japan Airlines International

27

飛行計画をつくりまして、出発前に必ずパイロットと地上で打ち合わせをして、お互いに安全な運航であること、快適性などが満足できるかを確認して、確認ができたらお互いに飛行計画というものにサインをする。それでやっと法的に飛行機は飛んで良いということになります。ここで合意に至らない場合は飛行計画の変更または再作成となります。このようにして1便毎に安全を確認しながら運航を行っています。予報だけでは飛べないので、やはり安全で快適な飛行というのは、実際に目の前で起きている大気の状態をずっと監視して、そこに現れるであろう天気変化を予測して、遅滞なく対応する。航空機だけではなく高速で動く交通機関にはこのような対応が必要だと思います。そういうことで日々安全運航には最大限の努力を続けています。それでは出発いたします、どうぞよい旅を。ありがとうございました。



藤堂 憲幸 氏

株式会社 日本航空インターナショナル
オペレーションコントロールセンター業務部
兼 運航部運航基準グループ 気象グループ長

1951年、熊本県生まれ。日本航空入社後、情報システム部門および航空機運航管理部門を経て、1997年より航空気象部門のヘッドとして現在に至る。国内20、海外25の空港および本社運航管理センターにおいて航空機運航管理者として運航管理業務を実施。文部科学省中央教育審議会初等中等教育課程理科専門部会委員および気象予報士会副会長を歴任。現在、国際航空運送協会航空気象作業委員会委員、国際民間航空機関航空気象専門委員会IATA委員およびNPO法人 気象環境教育センター理事。気象予報士。

(荒井) ちなみに先ほど紹介していただいた大気予想の断面図は、藤堂さんが開発されたものですか。

(藤堂) はい、だいぶ前になりますが、弊社で開発しました。似たようなシステムはアメリカとヨーロッパに少しはありましたが、全然中身が違いまして、非常に役に立っています。これは予想データですが、最近では、国内線ですと実況データでも同じようにつくれるようになりましたので、予想と実況を比較して、いまから1時間後に飛ぶ飛行機はどこが一番揺れるかというのが端的に分かるようになりました。最近の飛行の中では、お乗りいただいている皆さまはお気づきかと思いますが、あと何分後に揺れそうですので、あと10分以内におトイレを済ませてくださいますと、こういうことがだいぶ言えるようになり、かなり安全への対応ができているかと思います。

(荒井) ドップラーレーダの実用、活用をされている先駆者ということですが、島村所長からはいかがですか。

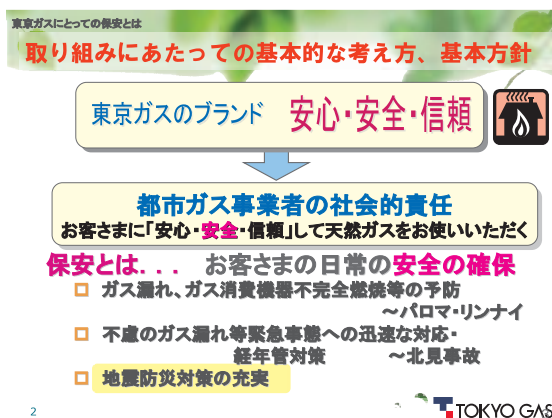
(島村) 気象の情報の使い方が、先ほど私が発表したものと、いまの藤堂さんの発表で相当性質が違うということを感じました。鉄道は基本的な安全は、誰がやっても同じ結果が出るようにルールで制御していこうという思想であり、人に依存しないことが当然いいことです。私どものレーダの最終目標も自動検知、自動警報、そしてルールに従う以上列車は安全というところをめざそうと考えていますが、いまのところはまだ渦巻きが見えるだけ

で喜んでいる段階なので、こうした自動警報のようなことが、レーダの大先輩としてどのぐらい実現可能性があるかについて忌憚ないご意見をいただければと思います。(藤堂) レーダの観測ですが、予報の情報も観測の情報もその情報をつくった瞬間の情報です。大気は時々刻々と変わっているので、実況も変わります。予報も変わります。ですからある実況値、予報値をもとに、それを閾値にアラートを出しても、30秒後、1分後は変わってしまいます。ですから公共交通機関というのは運行を制限する時間を極力少なくしなければいけない、なるべく運行できるまで運行する、できなくなったら止めて、危険な状態が過ぎ去ったらなるべく早く復旧しなければいけない。そうすると機械だけに頼っているとなかなか先の予測は難しいというのが実態として感じています。やはりそこにそういう情報をもとに人的な判断がうまく入る仕組みをつくらないと、利用されるお客さまのためにはならないのではないかと私たちは思っています。その情報を処理する人間に気象知識をつけさせて、判断をさせているというのが現状ですので、あまり高度に進む観測技術、気象技術だけに頼るというのは非効率的な部分があるかと思っています。

2.3 東京ガスにおける保安・地震対策の取組み

(荒井) 雨、風ときましてので次は地震ということになりますが、地震の観測でかなり実用化の最先端を行っておられる清水さん、宜しくお願い致します。

(清水) 東京ガスの清水です。宜しくお願い致します。今日はお招きいただきましてまことにありがとうございます。東京ガスにおける保安、地震対策の取組みについて、どちらかというと地震対策をメインで紹介します。



我々の取り組みにあたっての基本的な考え方は、東京ガスのブランドである安心、安全、信頼を守り抜く、または磨き上げるということです。いわば都市ガス事業者として見れば、社会的責任というのは、お客さまに安心、安全、信頼して天然ガスをお使いいただくことだと思っています。保安とはお

客さまの日常の安全の確保です。ただし、最近新聞やテレビを非常に賑わせてしまった事故があります。パロマやリンナイの湯沸かし器によるCO中毒でお客さまが亡くなる事故、ガス漏れ、ガス消費機器の不完全燃焼などの予防の徹底をしなければいけない。それと北海道の北見で起きた事故がありました。古い鉄製管が地中に埋設しているのですが、それが折れてガスがお客さまの家の中に入ってしまう、また不幸にも北見ガスはCOを含んだガスを供給していたので、CO中毒でお客さまが亡くなったということがありました。そういう意味で不慮のガス漏れなどの緊急事態への迅速対応と、古いパイプ、経年管対策を進めなければいけない、これはまた別途大きな課題として我々は持っております。それともう1つ、首都圏直下の地震はいつ来るかわからない、明日来るかも分かりません。地震防災対策の充実を図るために、この3本柱でいま一生懸命保安の強化に努めているところです。

東京ガスにとっての保安とは

取り組みの範囲(地域的な拡がり、対象範囲)



首都圏東導管事業部: 東京都、千葉、埼玉、茨城、栃木、群馬

東京ガスのビジネスに若干触れますと、我々の取り組みの範囲は、JR東日本から比べると非常に小さなエリアですが、1都7県にガス供給をしています。工場は3ヶ所あり、根岸、袖ヶ浦、扇島、いずれも東京湾内です。そこにLNGを輸入して、海水をかけて気化させ、圧力をかけ、ここに書いてあるように5万kmのバイプで1,000万軒のお客さまに都市ガスを供給する、これがビジネスです。その中に3つ事業部があり、その中の一番大きな事業部が首都圏東導管事業部で、東京都、千葉、埼玉、茨城、栃木、群馬を管轄しています。

経歴-1

- ❖ 1956年1月 広島県呉市生まれ
- ❖ 1981年4月 東京ガス(株) 入社
(ガスバイプライン敷設・保安の計画)
- ❖ 1985年9月 米国スタンフォード大学大学院工学部
修士課程入学(地震工学)
- ❖ 1987年1月 東京ガス(株) 導管技術開発センター
(液化化センサー開発等に從事)

4

TOKYO GAS

私は広島県の呉市生まれです。そのときは生まれていませんが、戦艦大和ができたところ。その後、東京ガスに入社して、ずっとバイプライン系です。85年にスタンフォードに留学し、そこで地震工学をみっちり学び、その後はほとんどずっと地震畑です。戻ってきて開発センターで液化化センサーというものを開発して、ちょっと毛色が違いますが、ガスマレーシアというところに出向しました。

経歴-2

- ❖ 1992年 1月 ガスマレーシア社出向 導管計画マネージャー
(マレーシアにおけるガス供給網の企画、中期計画・単年度計画策定、技術基準の整備等)
- ❖ 1995年 1月 阪神・淡路大震災
- ❖ 1995年 4月 東京ガス(株) 防災・供給センター 防災チーム
(東京ガスにおける全社地震防災計画、SUPREMEの開発、中圧耐震マスタープラン等)
- ❖ 2001年 7月 東京大学博士号(工学)取得
- ❖ 2004年 4月 東京ガス(株) 導管部 導管グループマネージャー
- ❖ 2004年10月 新潟県中越地震復旧応援隊総括隊長
- ❖ 2006年 4月 首都圏東導管事業部長、現在に至る

都市ガス事業というのは、どちらかというとドメスティックなのですが、初めて我々の会社でガスマレーシアという都市ガス事業を立ち上げるということで、マレーシアにおいてどのようなパイプを引けばいいのか、技術基準をどう整備すればいいのかを、導管計画マネージャーとして、任務に当たりました。

1992年の5月16日にガスマレーシア社が設立されました。そのころ当然CEOなどはマレーシア人ですが、当時は、マハティール政策、ルックイースト政策下であり、日本に学べということで、ザ・ジャパニーズ・エラと呼ばれていますが、日本から東京ガスが選ばれ、我々サムライの中の1人として、行かせていただきました。いまや実はガスマレーシア社というのは日本で例えて、どのくらいの規模になっているかと言いますと、東邦ガスが第3位の販売量をお持ちですが、それに匹敵するか、それ以上の会社にたった15年の年月で育っています。1つそういう意味で私の誇りでもあります。

The Samurai

SHIMUZU MIKAMI T. YOKOYAMA HAYASHIZONO YASUOKA NAKANE SUZUKI MATSUMOTO YAMAGUCHI

TOKYO GAS

9

1995年1月、この時点で私はまだマレーシアにいたのですが、阪神淡路大震災が起きて、すぐに呼び戻され、防災・供給センターの防災チームに配属となりました。実は、阪神大震災が起きてから全ての地震対策が練り直しになりました。これは「予防、緊急、復旧、お客さま対応」の全てが、いままでのやり方では駄目だということで、再構築が始まりました。その中の「緊急」の取組みの1つが「SUPREMEの開発」で、ガスを止めるための開発です。ここは後ほど、ゆっくり述べてさせていただきます。その後、2004年4月に導管部の導管グループマネージャーに就きました。ここは、「復旧」に対応するセクションですが、そのすぐ後に、新潟県中越地震が起きてしまい、幸か不幸か、そこの復旧応援隊長として行かせていただきました。へとへとになりましたが、復旧対策の抱える問題点を強く感じる契機となったことをよく覚えています。

ここから都市ガス供給網の超高密度リアルタイム地震防災システム「SUPREME」の開発をご説明します。SUPREMEというのはSuper-dense Realtime Monitoring of Earthquakesの頭文字ですが、SUPREMEというのはご存知のとおり、至高とか最高という意味ですので、我々は、とにかく最高のシステムをつくらうと、その思いを持ってSUPREMEという名前をつけて開発を始めました。この開発の契機になったのが実は阪神大震災ですので、ここで「人と防災未来センター」からお借りしているビデオを少し見ていただいて、阪神大震災とはどのようなものだったのか、もう一度記憶を呼び戻したいと思います。

〔ビデオ上映〕阪神・淡路大震災～「5：46の衝撃」

〔阪神・淡路大震災の経験を語り継ぎ、その教訓を未来に生かすために神戸に建てられた記念館「人と防災未来センター」で放映されている地震被害の再現映像〕

阪神・淡路大震災におけるガス施設の被害

項目	内容
	中圧導管 106件 漏洩 低圧導管 26,459件 漏洩
1. 導管の被害	内訳 道路下埋設ガス導管 5,190件 道路下埋設お客様への引き込み管 6,184件 お客様敷地内配管 15,085件
2. 供給停止件数	約86万件
3. 供給停止に要した時間	15時間
4. 復旧日数	85日間

低圧導管からの漏洩が多数。
→被害地域の低圧ガスの
迅速な供給停止が不可欠

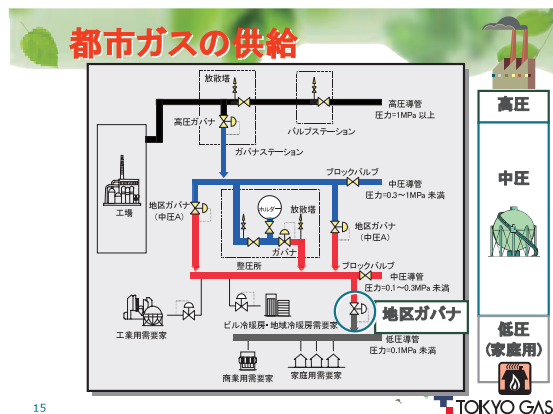


14

TOKYO GAS

(清水)「供給停止まで15時間」と私が勝手に最後にテロップを入れたのですが、都市ガス業界としてはこれだけ大きな地震で、全ての施設がやられる中で、都市ガス導管だけが平気なわけがない、実際に都市ガスは、お客さまに近いパイプである低圧導管で2万6,500件くらいの漏れが

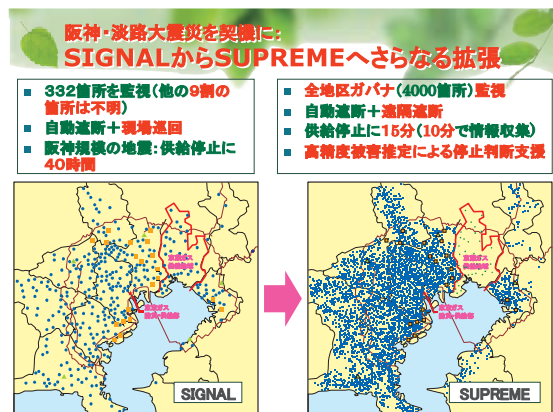
起きたのです。実は、それを止めるのに15時間がかかってしまった。それまでは漏れっ放しで、要は都市ガスが漏れて非常に危険な状態の中で、爆発とか火災を起こすというのは、都市を壊すことになってしまうということで、迅速な供給停止はどうしても必要だということになるわけです。



15

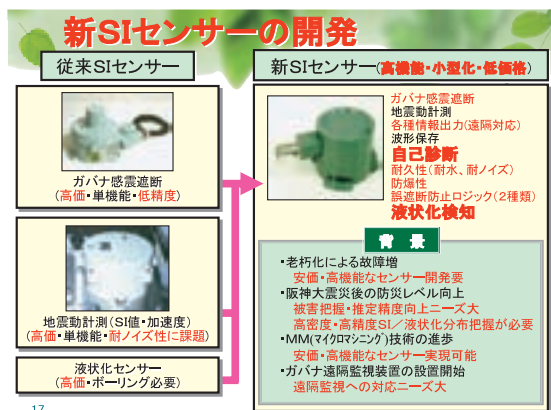
TOKYO GAS

それでは、東京ガスはどうかということになりますが、その前に供給の方法をもう一遍ご説明します。工場でLNGを気化して、非常に高い圧力で周辺にガスを回して、段々と圧力を下げて最後に低圧、お客さまのところにガスを届ける。これが我々のシステムです。お客さま1軒1軒にはマイコンメーターがついており、そこにも感震遮断装置がついていますが、これからよく言葉が出てくる「地区ガバナ」、最後に低圧に落とす機械ですが、我々は、阪神大震災前もここに感震遮断装置をずっとつけてきていました。



実は、我々が阪神大震災前は「SIGNAL」と呼んでいたシステムには、実際には4,000個のガバナがありましたが、実際に監視していたのはたったの332ヶ所でした。ですから自動遮断が起きても閉まっているガバナ、閉まっているガバナの全てを遠隔監視するわけにいけないので、現場を巡回して、開いているガバナを閉めにいかなければいけない。そうすると首都圏は阪神よりも込み合っていますから、40時間ほどかかってしまいます。40時間ガス漏れを放置していいのかというのが大きな課題になり

ます。ちょうど、我々のガバナセンサーが老朽化しているのとタイミングが合っていたので、4,000ヶ所全てに対して、監視も、遠隔遮断もできる新しいシステムをつくれれば、供給停止は15分で済み、我々の計算では、リスクが1%以下と算出されたので、これをめざしてやり始めました。

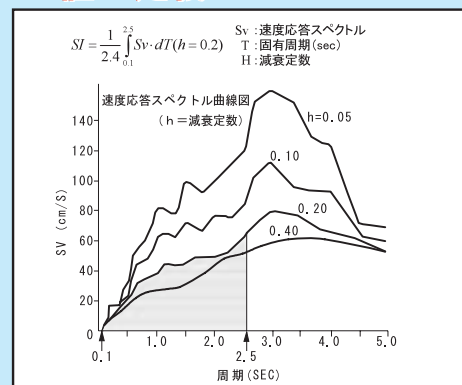


ここで地震計の話になりますけれども、従来我々は単機能のセンサーをたくさん持っていて、左側上のセンサーを全部のガバナに付けていました。これはガバナを感震遮断するだけです。

左側中のセンサーは地震動の計測ということで、SI値とか加速度とかそういうものが測れます。ただこれはいままです非常に値段が高かったのです。高価ですが、ノイズに対して弱く、制御できないため、感震遮断させるような制御系用途に向きませんでした。

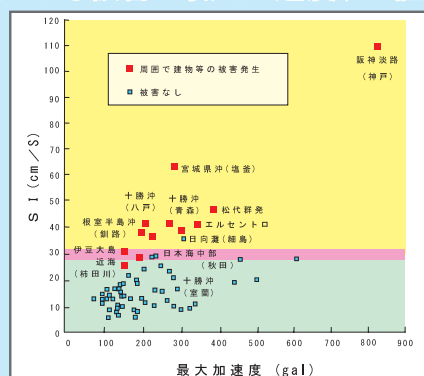
最後の液状化センサーは私が開発したのですが、これも高価ですが、ちょうどいいタイミングなので、それらをベースとして、良いセンサーをつくらうと思い、全ての機能をまとめて非常に高性能で小型化で低価格のものをつくり上げました。それが何故できたかということ、マイクロマシニング技術の進歩がありました。ちょうどこの頃、10年前ですけれども、いまはもうABSとかエアバックなどが当たり前ですが、その頃車に導入され始めました。そこで使われているのは非常に小さな加速度ピックアップで、マイクロマシニング技術でできています。そのマイクロマシニング技術でつくった非常に小さな加速度ピックアップを初めて地震計として使ったのが新SIセンサーです。それを4,000ヶ所全部にばらまくということになります。

SI値の定義



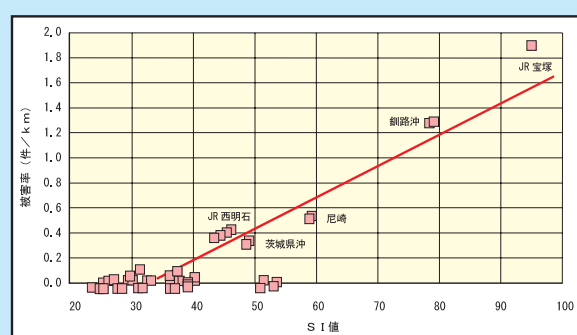
SI値というのは、先ほど少し島村所長からもご説明がありましたので、ここでは説明を省かせていただきますが、何故SI値をずっとガス業界として使っているかというのと、SI値が加速度よりも被害との相関が高いからなのです。

地震による被害と最大加速度、SI値の関係



グラフは、横軸に最大加速度、縦軸にSI値をとっており、赤いドットが地震で周囲の建物に被害が発生したものの、青いドットは被害がないものです。グラフを見ていただくと、SI値が30ぐらいのところを引くと、ほとんど赤いドットだけになってしまいます。SI値が30以上になると、建物で被害が発生する可能性があることを示しています。しかし、加速度の場合はそうはいきません。

SI値とネジ接合鋼管被害率の相関



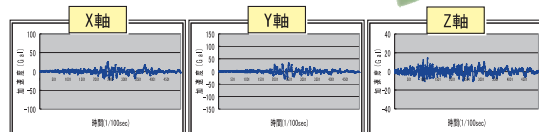
圓山というのは、圓山大飯店のあるところで、有名なので、ここにお泊まりになったことがある方もいらっしゃるかと思います。この大きなホテルの丘の上に新SIセンサーはついていました。



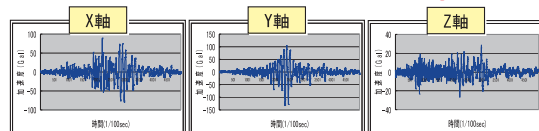
もう1個の新SIセンサーは、社子という川べりで非常に軟弱な地域についていました。

社子と圓山の加速度波形

Yenson: 圓山 (SI値: 8.3kine、加速度: 88gal)



Shazoo: 社子 (SI値: 27.4kine、加速度: 140gal)



この2つのセンサーがどういう値を示したかという、圓山が上で社子が下ですが、波形の形が大きく違います。SI値でいうと、圓山が8で社子は27。震源から160km離れていて、ただか地点としては1.5kmしか離れていないのに、地盤の条件により、こんなに揺れやすさに違いが出ました。

自動感震遮断の欠点



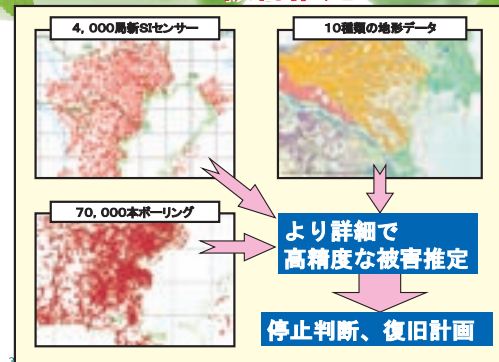
それまでは、ブロック化して感震遮断させたら上手くいくのではないかと阪神大震災前から言われていたのですが、実は地盤で揺れやすさが変わってしまうことが分かりました。全ての地区ガバナが止まっていれば、低圧というのはきれいにガス遮断できます。ただ揺れにくい地点が1個でもあった場合、そのガバナは遮断しません。感震自動遮断しないと、ガバナというのは圧力を平均的に保つ機械ですから、ガスをどんどん送ってしまいます。

自動遮断の欠点



幾らたっても漏えいは止まらない。人が行くと40時間かかる、何としてでも遠隔遮断しなければならないと開発したのがSUPREMEです。

SUPREME被害推定



ただかというか、4,000ヶ所をつけるというのは大変なものなのですが、そのプラスアルファの効果として、いままでの説明では遠隔遮断して安全を担保するというのですが、それに加えて高精度被害推定もできるようになりました。これだけのセンサーが首都圏についているところはどこもありません。我々のエリアは3,000平方キロで4,000個のセンサーがついていますから、1平方キロに1個は必ず地震情報が入ってくるになっています。これと地形データやボーリングデータをかみ合わせると非常に高精度の被害推定ができて、停止判断とか復旧計画に役立たせることができるわけです。

ここまで私が長々とお話ししてきましたが、その内容が映像になっておりますので、最後にビデオをご覧ください。



マイコンメーターのところに加速度センサーがついて、震度5強ぐらいの地震を感知すると家1戸1戸止めていきます。



先ほど申し上げた地区ガバナはこの機械で、大体マイコンメーターは2,000から3,000基くらい下流側にあります。



これはSIセンサーです。SI値が40以上になると自動遮断します。



しかし、先ほど申し上げたように、もしかしたら開いているガバナもあるかもしれません。これはSUPREMEの画面ですが、本社にある防災供給部の供給指令室には、この情報が一気に10分で集まってきます。

10分で集まってきて被害推定をして、危なそうなところであるとか、ガバナが開いているところに対して遠隔遮断をするわけです。これをするによって今まで40時間かかっていたものが、たった15分で安全を確保できて都市を守れるようになりました。我々は、都市とともに生きる会社ですから、何とかしてこれを完成させたいという思いでSUPREMEを開発して、2004年に稼働させ、いまのところ順調に動いています。私の発表はここまでとさせていただきます。



清水 善久 氏
東京ガス株式会社 首都圏東導管事業部長

1956年、広島県生まれ。東京大学工学部土木工学科卒業後、東京ガス（株）に入社。ガスパイプライン敷設・保全の企画を担当。1985年、米国スタンフォード大学大学院工学部修士課程にて、地震工学を学ぶ。1987年、東京ガス（株）に復社後、パイプライン技術開発、液化化センサー等地震防災開発に従事。1992年、ガスマレーシア社に出向し、導管計画マネージャーとして、マレーシアにおけるガス供給網の企画を担当。1995年、東京ガス（株）に復社し、東京ガスにおける全社地震防災企画、SUPREME等の技術開発を実施し、2001年、博士（工学）号（東京大学）を取得。2004年、新潟県中越地震発生時に復旧応援隊総括隊長として活躍。2006年、首都圏東導管事業部長となり現在に至る。

(荒井) ありがとうございます。いま4,000ヶ所にセンサーを入れているというお話がありました。私どもの会社では全社で約200くらいではありますが、結構ノイズを含めて誤動作もあります。誤動作といいますか、信頼性についてはいかがでしょうか。

(清水) 以前のセンサーでは、加速度センサーと演算部とが分かれており、弱い信号を線で送るので、どうしてもそこでノイズが乗って誤動作することがあります。このセンサーの場合は、センサーの中に演算部もメモリーも全部入っていて、最後のアウトプットはリレーで出していますから、非常に強い信号で出します。遮断について言えば誤動作というのはほとんどありません。それに自己検知機能を持っています。ある一定の期間わざと揺らして、それでプラスマイナス10%の誤差があると、これはおかしいということを自己検知して、ホストに知らせる仕組みを持っているので、これまでメジャーなトラブルというのはまったく起きていません。

(荒井) 島村所長、いかがですか。

(島村) 先ほど、私の発表には進化するというサブタイトルをつけました。少しずつ良くするというのが進化だと思っていますが、シグナルの時代が数百個ですからそれでも十分多いと思うのですけれども、いきなり4,000個の地震計をつけるというのは、私ども鉄道の常識からすると相当違うなという感じがしました。さもそういうことがスムーズにいったかのようなご発表だったのですが、その辺は実は狂気の沙汰だとかいうようなご意見は社内にはなかったのですか。

(清水) 実は阪神淡路大震災の後、東京ガスでは中期経営計画が2回あり、1回目で実は出そうかと思っていたのです。4,000個も地震計をつけて、4,000個も通信を使って、そんなので遠隔遮断するというのは夢の夢だろうと上司に言われて、そのときは断念しました。いま思うと、1回目と2回目で何が違うといえば、通信形態の違いがありました。いまでも、災害時には携帯電話や一般電話の回線に負荷がかかりますが、阪神淡路大震災の頃は一般電話が主流で、地震後はほとんど通じない状況でしたので、通信の確保ができず止めたのです。ただ、新SIセンサーもマイクロマシン技術ができてきて、通信も初めのころは一般回線だったのですが、交渉により災害時優先電話の権利を4,000局全て取れたこと（後にDOPAデータ通信になりました）、あとは、社会における損失リスクのうち、100あるものが1になるとなれば、これは公益企業の責務だろうということを訴え、これらにより、2回目の中期経営計画は見事通りました。1回目はやりりサーチ不足もあり、環境が整わなかったところもあったのですけれども、これは都市を守るためにどうしてもやらなければいけないことなので、タイミングも良かったし、あと最終的にはできる環境にあったということで、2回目でこれをやらせていただけることになったわけです。

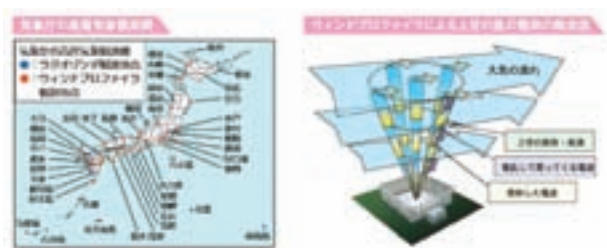
2.4 今後の観測技術について

(荒井) 次に藤谷さんですが、気象学のご専門ということで、いま航空の関係、そして東京ガスのお話がありましたが、そのほかの分野で観測技術が現在どのように使われているか、また、海外でどのような観測技術が開発されようとしているか、ということについてお話しただければと思います。

(藤谷) 私も気象庁を退職してしばらく経っておりますので、あまり最新の情報というのは知らないのですが、まず先ほど私の講演で申しましたように、新しい観測として、従来のような観測から予報という一方向の観測の考え方ではなく、双方向観測という考え方があります。すなわち、予報結果を参考に、観測の重要なターゲット領域を同定して、そこでの観測を強化するという考え方があります。先ほどの台風の観測の場合には、飛行機でターゲット領域にドロップゾンデを落とすということをやっているわけです。実際の場合にはなかなか簡単にはいかないと思いますが、新しい試みの一つです。また、オーストラリアなどでは無人の小型の観測飛行機ができていまして、何十時間も飛べる。それにいろいろな気象センサーをつけています。例えば台風をターゲットに双方向の観測をするという場合ですと、それを飛ばせばデータが得られるというのがあります。実は日本でも、ちょうど私が気象研にいたころに一部それを使った観測もやりましたし、日本でも無人の小型飛行機を開発するというのはいろいろ行われています。



以上は気象分野の話ですが、地震、火山関係ですと気象庁も小型の無人のヘリコプターを持っています。特に火山などの場合、なかなかそばに近寄れないので、無人のヘリコプターで火山に近寄って観測をするということもやっています。なかなかオペレーションは難しいですが、そういうことも行われています。



それといまレーダの話がございましたが、確かにレーダは非常に有効な観測手段なのですが、雨が降っていないと観測が出来ないということがあります。この図は現在、気象庁が展開しているウインドプロファイラの構造と観測点を示しています。ちょうど私が観測部にいたときに予算要求をして、当時全国25ヶ所に一度につけたものであり、現在は31ヶ所に設置されています。これは上空に向かって電波を出すレーダの一種なのですが、雨が降ってなくても3次元の風が測れるということで、非常に有効な観測手段になっています。これまで気象庁では、上層の風というのは、ご存知のようにラジオゾンデで測っていました。ラジオゾンデの観測点は、全国16ヶ所しかありませんし、1日2回の観測ということで、データが限られておりました。一方、ウインドプロファイラは連続的に風が測れるので、非常に良いのですが、ただ残念なことに、これでは、ラジオゾンデのように温度と湿度は測れません。温度、湿度のデータは非常に重要なのですが、なかなか連続的には観測できないので、ゾンデのデータに頼らざるを得ません。マイクロ波を使って温度を測る、あるいはGPS電波を利用して湿度を測るというようないろいろな試みがありますが、なかなか実用化には至っていません。これが可能になって全国に展開すれば、それこそ高密度でしかも連続的なデータが取れるようになるので、気象業務にとって非常にインパクトがあると思っています。

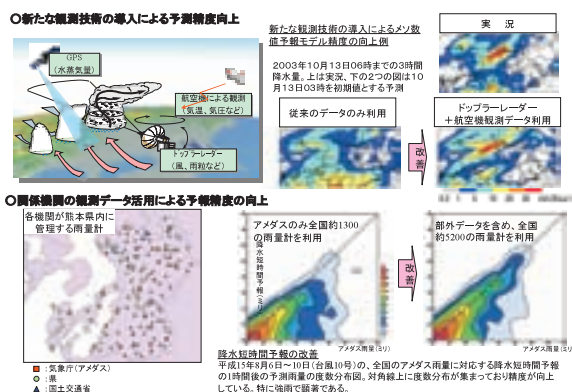
さらにレーダに関しては、いま、真木さんが言われたマルチパラメータレーダが次世代の観測装置として重要になってくると思います。また、レーダ観測では基本的にレーダアンテナを回すという形で行っていますが、これからは現象を時間的に詳細に把握するためには、もっと速いスキャンをしないとイケない。そうすると機械的にアンテナを回すだけでは限界がありますので、例えば真木さんの表にも載っていましたが、いわゆるフェーズドアレーアンテナが必要になってきます。これを用いますと非常に速くデータが取れる。これからは多分そのあたりが主流になってくると思います。しかもレーダ電波の発振もこれまではマグネトロンやクライストロンなどで行っていましたが、これから固体化素子になるので、

そういう意味でまだまだ技術発展があるという気がしています。

日本航空でいろいろ取組まれているドップラーレーダの話が出てきましたが、気象庁はドップラーレーダを全国8空港に展開しています。いわゆる一般レーダは、全国20ヶ所のうちの11ヶ所がドップラー化されており、今度5ヶ所増えますので16ヶ所ドップラー化いたしますが、一般用ドップラーレーダと、空港に設置されているドップラーレーダとは仕様が異なります。空港用は空港周辺の空間的に詳細な風の変化を把握する必要がありますのでビームを非常に絞っています。それから単にエコーを見る、あるいは風速を計るというだけではなく、航空機に影響するウインドシアやダウンバーストを検出する必要がありますので、ソフトウェアが重要になってきます。いかにデータを早く処理して、風に関する情報を素早くアウトプットして伝えるかということが重要です。

悪天情報に関しましては、気象庁も悪天解析図や悪天予想図などを出していますし、火山灰についても航空路火山灰情報などを提供しています。

観測・予報技術の向上



航空機によって観測された気温などの情報をいただき、非常に予報の精度が上がったことを示しているのがこの図です。従来のデータだけを使った予報に比較して、先程述べましたドップラーレーダや航空機のデータを使用しますと、予報結果が良くなり、実況に非常に近くなります。航空会社からいただいているACARSのデータは予報に非常にインパクトがあるということをこの図は示しています。

それから地震関係では震度計を、気象庁、地方自治体、防災科学技術研究所合わせて全国4,000ヶ所以上に展開しています。これはいわゆる防災の初期対応のために非常に必要な情報を提供します。それから平成19年の10月から緊急地震速報を一般の方に提供すること実施しています。これは防災活動に非常にインパクトがあると思いま

す。後で少し申しませんが、緊急地震速報をどのように伝えるか、その情報をどう使うか、特に受け手の方がどう理解するのかが非常に重要だと思います。

3. JR東日本への期待、アドバイスなど

(荒井) ありがとうございます。このパネルディスカッションもそろそろ着陸の態勢に入ってきました。ジェット気流から時間の関係で向かい風を受けているような感じがしますが、最後にそれぞれの方から、これからの取り組みの技術的な課題や、また私ども鉄道分野にアドバイスなどがありましたらお願いしたいと思います。

最初に真木さんをお願いしたいのですが、同じ研究部で水・土砂の関係も研究されているということもありますので、先ほどのレーダで観測した空中における雨風を、土中水分、いわゆる土砂崩壊などを防止するためにどうつなげていくのかを含めてお話いただけますか。

(真木) マルチパラメータレーダを使った研究のスポンサーは政府です。私たちは中期計画ということで5年間のプロジェクトを政府に申請して、都市型の水害と土砂災害を予測する技術を開発しています。土砂災害では、特に都市近郊の山の近くの住宅地でのがけ崩れの予測ができないだろうということで、マルチパラメータレーダの実効雨量を使った予測研究や研究所にある大型の降雨実験施設、これは3階建ての建物の高さがありますが、そこに1時間に200ミリぐらいの強い雨を降らせる実験施設ですが、を使った雨水の浸透過程と崩壊過程についての基礎的な研究を進めています。

鉄道分野でも、ぜひJR東日本とはこれから、特に首都圏をテストベッドにして、共同研究を進めさせていただければと思っています。まず、MPレーダ実効雨量が鉄道分野でも利用できるのかどうかを検討していきたいと思っています。

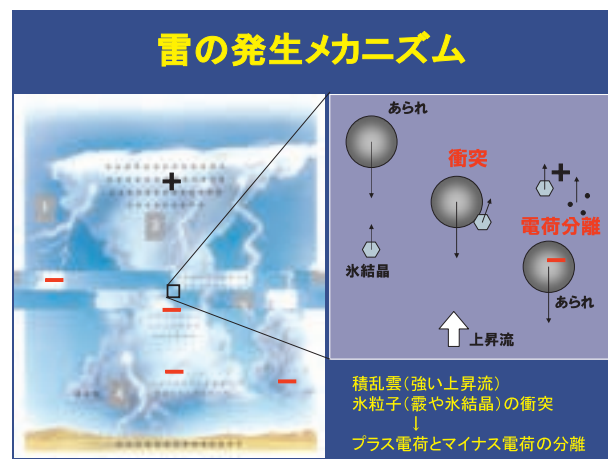
(荒井) ありがとうございます。次に藤堂さん、これからの技術開発といいますか、そういった部分はどういうことをお考えになっていますか。

(藤堂) 先ほどドップラーレーダがだいぶ話題になりましたけれども、長所、短所があり利用者の立場から見れば万能ではありません。以前に新聞などでJR東日本の営業領域にものすごい数のドップラーレーダを配備して、監視するような計画の提案などがあったようですが、レーダの費用対効果を考えると、私はそういうのはあまり賛成ではありません。気象庁の広域レーダもかなり高度化されつつありますので、それを有効利用するのが望ましいと考えます。何千キロと長い線路を独自のレーダ網で

やろうとしても非常に難しい、日本は地形が非常に複雑ですから低いところの状況を把握するのは容易ではないと思っています。それよりもいま鉄道線路の近くにある風の観測装置を風速だけではなくて、風向・風速と列車の進行方向とのベクトル計算ができるようなソフトで影響度合いがリアルタイムに分かるようなものがあつたほうがいいようにも思います。ということで、あまり1つの観測技術だけに注目して、それがいいと飛びつくのは非常に危険なような気がしますので、いろいろな研究が必要かと思っています。

それで同じ交通機関としましては、ソフトの面で、いろいろな情報をどのように利用していくか、より多くの正確な情報を集めて迅速、的確に判断をしてその対策の指示を出せる態勢をどうやったらつくれるのかという面では、運行方式が違って交通機関としてはおそらく共通な部分があるかと思っています。そういう視点でいろいろと経験の蓄積だとか技術の習得のための教材作成とか教育訓練などでお手伝いできるのかなと思っています。予報情報も実況情報もある条件に基づいて出たデータですので、そこの大気の状態全てを表現しているわけではありません。ですからその1つのことにだけ注目するといっぱい落とし穴があるというのが自然の状態ではないかと思っていますので、そのあたりをよく見きわめる態勢が必要かと思っています。

(荒井) ありがとうございます。先ほど航空の関係においても雷の被害があつたように伺いました。真木さんのお話の中では、括弧書きでしたけれども、マルチパラメータレーダでは雷も予測できてくるというお話がありました。そのメカニズム、どのように雷を見ていくのかということを簡単に紹介していただけますか。

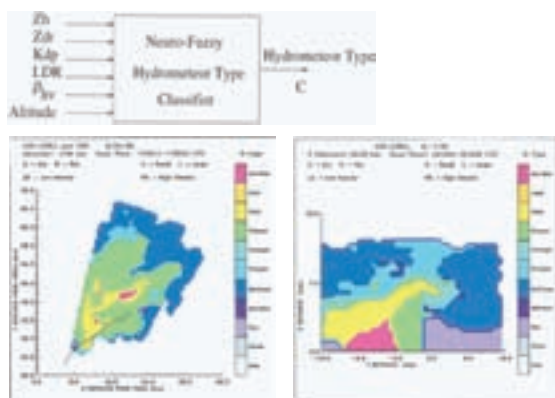


(真木) 雷自体、気象学的には非常におもしろい現象でして、多くの気象研究者が興味を持っていますが、雷そのものをレーダで検出し予測するのは無理ではないでしょ

うか。しかし、雷が起きそうな雲の状況をマルチパラメータレーダで監視できるかも知れません。まだ研究始めたばかりですので、これからいろいろなことを調べていかなければいけないと思います。雷の予測のためには雷の発生のメカニズムを知っておく必要がありますが、驚かれるかも知れませんが、これはまだ良く分かっていません。雷が発生するのは、雲の中で電荷の分離が起きるからです。通常、雲頂付近でプラス、雲底付近でマイナスという電荷の分離が起きます。同時に、地上ではプラスの電荷が蓄積されます。電位差がある値以上になると雲間で、雲内で、あるいは雲と地面との間で放電が起こります。これが雷の発生です。雲と地面との放電が落雷です。

雷の発生メカニズムが未だ分かっていないと言いましたのは、どうしてこういう電荷の分離が起こるのかということが分かっていないからです。もっともらしいとされている説を図に示しました。積乱雲は、通常10万メートルの高さまで発達するので、氷結晶や霰（あられ）が雲の中にできます。積乱雲には、大体強い上昇流がありますが、霰は比較的重いので上昇流に逆らって落下します。一方、氷結晶は比較的小さく、上昇流によって上昇します。そうすると、霰と氷結晶が衝突します。このときに、小さな氷結晶がプラスに、霰はマイナスに帯電します。なぜこのような帯電がおきるのかは良く分かっていませんが、衝突によってできるごく小さな氷の破片がなんらかの役割をしているのではないかとされています。プラスに帯電した氷結晶は強い上昇流で雲頂付近に蓄積されます。一方、マイナスに帯電した霰は雲底のほうに落ちていきます。このようにして、雲の中で電荷の分離ができるという理屈です。

氷粒子の検出例



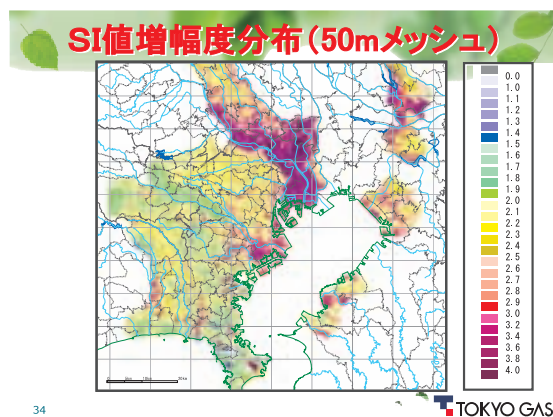
Hongping Liu and V. Chandrasekar (2000)

このように、雷の発生するときには霰が必要です。いろいろな偏波パラメータを使うと、霰が存在する場所を

推定することが可能です。その例として、コロラド州立大学の研究結果を図に紹介します。少し見づらいのですが、P49の図は真上から積乱雲の中の様子を見たものです。ここで、色分けが10何段階かしていますが、例えば赤色はHail+Rainです。ここに雨（Rain）と溶けかけの氷（Hail）があるということです。黄色のところはHail、緑色のところに霰（Graupel）があることを示しています。この結果は、偏波パラメータと降水粒子の間の関係をファジーロジックを使って推定することによって求められたものです。同じことが鉛直断面でも可能です（左図）。横軸がレーダからの距離、縦軸が高さ方向です。そうしますと緑色の部分の高度に霰が降っていると推定できます。

先ほどの落雷のメカニズムとしては氷の衝突ということが1つ原因としてありますので、電の場所を検出することによって、その雲で雷がおきやすいかどうかを推定できるかも知れません。まだ研究段階ですので、これから実証も含めてやっていかなければいけない問題だと思います。

(荒井) 次に清水さん、先ほどの4,000ヶ所のSIセンサーによるいろいろなデータで、関東圏における地盤の強弱の分布などは大体もうお分かりになっているのですか。



(清水) まずSI値の増幅度分布マップを我々は持っています、これは50メートルメッシュごとに整備しています。50メートルメッシュにした理由というのは、もともと被害はやはり地形にかなり依存するものなので、地形をうまく反映できるようなメッシュの大きさからすると50メートルです。



よく行政が被害推定される500メートルメッシュでは全然反映されなくて、50メートルメッシュ単位に我々はボーリングデータを用いて、事前にSI値増幅度分布というのを持っているのです。その上にどんどん地震が起きますので、こういうようなデータが地震の10分後にはすぐ手に入ります。そのデータを蓄積していった、どこが揺れるのだろうかとかまた練り直していくことで、増幅度分布が非常に確かになっていく。こういうSI値を使っている事業者というのは我々ガス業界とJRなので、できればSI値の利点とか、またはこういうところでおかしいところがあったとか、情報交換などをさせていただければ非常にありがたいし、我々の蓄積のデータもいろいろ議論させていただければ技術屋としては楽しいのではないかと思います。

(荒井) この情報というのはかなり活用できそうですね。

(清水) 我々のパイプラインの、どこを優先して取り替えるべきかということを考えると、同じ基盤に地震動が入っても、SI値が増幅するところのほうが当然ながらSI値は大きくなるわけです。固いところの地盤で同じ管種が入っていても、柔らかいところの地盤のほうが地震動が大きくなるのでそちらを優先的に取り替えなくてはならない。勿論、いろいろな環境も考えてですけども、そういうふうにも使えますし、非常に有効な、有用な情報だと思っています。

(荒井) 島村所長、いかがですか。

(島村) 先ほど高架橋の耐震補強についてご紹介させていただきましたが、JR東日本の線路は、特に首都圏など重要な線区ほど建設年次が古いですから、これを支える橋りょう、トンネル、高架橋といった土木構造物は当然高齢化が進んでいます。もちろんきちんと維持管理をすれば多くは半永久的に使えるでしょうが、人工物である以上、長いスパンで見れば、地震などの外力に対して目には見えないところで次第に脆弱化していくし、やがていつかは取替えの時期が来る。それらをいっぺんに取り替

えることは現実的ではないので、取り替えの優先順位をつけるために、いま清水さんがおっしゃったような高密度な地盤のデータなどが非常に価値の高い情報になるのではないかと思います。

(清水) ただ残念なのは、私が担当しているエリアが東京東部でこら辺の地盤が一番弱いというのが如実に出ていまして、地震が起きたら大変なことになるなというのは感じています。

(荒井) いま清水さんは南千住の事業所に勤めていらっしゃるということで、先ほどの濃い色のところが一番弱い。

(清水) はい。

(荒井) ありがとうございます。最後に藤谷さんから、いまでお話を聞かれた感想、または私ども鉄道に対するアドバイスなどがありましたらお願いします。

(藤谷) 今日はハードの話が多かったものですから、少し違う角度、防災情報といいますか情報防災といいますか、そのような切り口で少しお話しします。

戦後の災害史を見ますと、伊勢湾台風が非常に大きな転換点となっています。この災害を契機に災害対策基本法ができ、いろいろな防災情報ネットワークができました。昭和50年代にはファックスなどいろいろな新しい伝達手段ができ、さらに、現在がまた第3の転換期です。いわゆるIT、個人の情報ネットワークの時代です。

そういう時代に我々は、防災情報をどう使うのかということが重要になってきます。実際に、急激に都市化すると、社会の生活様式も変わって、災害の発生状況が変わってきています。しかし、防災対策や意識はなかなか変わらないわけです。そういう意味で潜在的な災害ポテンシャルに対して住民の皆さんはあまり知らない。それからもちろんこれまでに伝えられてきた防災の知恵もなかなか伝わっていない。

そういうときに我々はどういうふうにして情報を伝えていくのか。防災情報というのは、発表者、伝達者、受け手、の共有財産ですから、ルールが確立してないとなかなか正しく伝わらない。情報を伝えるということと活かされるということは、実は非常に乖離しているわけで、このあたりをどう乗り越えるかが重要な課題です。防災情報が活かされるためには、タイムリーで速やかに伝えられたうえで、受け手が正しく対応しないと、情報が活かされないわけです。そのためには当たり前のことですが、日ごろの訓練が必要です。

しかし、途中の伝達役として防災知識を持った人がきちんと伝えないと、情報が変形する可能性がある。しかも受けるほうの住民は、いろいろな対応、例えば、不安・居直り・不信などの対応をするわけです。津波情報

が入ったときに海岸に見に行く人とか、さまざまです。確率的な予測情報をちゃんと合理的に判断してもらうというのは必要ですが、最後の避難行動に人々を動かすのは人格を持った声です。そこらあたりをどうするのか。非常に無機的に伝える部分と、最後は人格を持った声で動かす部分、このあたりは多分これから地方の首長さんあたりがいろいろ悩まれるところではないかと思います。

さらに、パニックとパニック災害というのも本当は区別しないといけないのですが、そこもなかなか区別されていないというところも問題で、我々としてはパニック災害というのがイメージにありまして、パニックを重大視してしまう傾向がある。そこはなかなか難しい問題です。

それと現在はIT時代なものですから、インターネットが非常に普及している。そうしますといろいろな情報もろに直接に一般住民に伝わるわけです。そのような状況のなかで、我々はどういう具合にリスクを伝えるのか、なかなかそのあたりが難しく、内容をちゃんと知らないという情報に振り回されますし、といって変に誤解されるのも困るという問題があります。特に地震予知情報などはそうですが、きちんとした伝達をしないとイケないということです。

先ほどの講演でも言いましたように、環境問題では子供さんの教育とかが重要だったのですが、防災についても同じです。実は緊急地震速報について国土交通省全体で検討する委員会をつくりました。そのときに委員長をお願いしたのが、亡くなられた東大の廣井先生です。会議の席で廣井先生の言われた、「最終的に緊急地震速報のような情報を正しく使う、社会に定着させるためには、社会のカルチャーを変えないといけないだろう。」と言う言葉が印象に残っています。そのカルチャーを変えるというのは基本的には教育だと思います。

皆さんよくご存知のように防災教育にはいろいろな方法があります。感性教育、体験教育、知識教育とかあるのですが、最も重要なのは感性教育です。例えばよくご存知の「稲むらの火」というのがありますが、あれが感性教育の典型的なものです。あのような魂を揺さぶるような感性教育を子供のときからしておかないと、世の中のカルチャーはなかなか変わらないのではないか。そういう意味で教育というのが一番根本ではないかと思います。情報防災とかいろいろ言いますが、最終的には教育が一番重要ではないかという気がしています。何か雑駁な話をしてしまいましたが、防災について私が重要と考えていることは以上です。

4. おわりに

(荒井) このパネルディスカッションは「観測技術による防災力の向上へむけて」と題しまして、非常に貴重なお話を承ってきました。地球の温暖化などにより地球規模の気候変動が出てきているというお話がありましたし、それと密接に結びつきながら、私どもがいままで体験したことのないようないわゆる異常気象が現在発生している、またはこれから発生していく傾向があるというお話もありました。

今日は、各専門の分野の皆様方に非常に有意義な最新情報、そしてこれからの課題を含めた技術的なお話をいただくことができました。私ども鉄道というのは、点もしくは線でいろいろ観測をし、過去の災害実績により防災、減災の対策を築いてきましたけれども、今日のお話にありましたように、これからは面的に、さらには3次元的にいろいろな情報が必要となるということで、特に皆様方とは密接に連携を図らせていただきたいと思います。また、いま藤谷さんからお話がありましたが、単に連携ということだけではなくて情報の活用方、エンドユーザー、私どもで申しますとお客さまという観点も含めて考えていくことが重要だというお話を聞かせていただきました。ありがとうございました。

私どもも、日々進んでいく技術を貪欲に取り入れながら、鉄道の安全、さらにはその先にある安心を構築していきたいと思います。また、今日お集まりの皆様方のいろいろなご意見をいただければ幸いですと思います。時間が参りました。これでパネルディスカッションを終えたいと思います。本日はお忙しいところ、皆様方、お集まりいただきましてありがとうございました。



コーディネーター：荒井 稔
東日本旅客鉄道株式会社 執行役員 技術企画部長
兼 JR東日本研究開発センター所長