

「激しい気象の短時間予測技術に関する専門家会議」の報告*

山田 眞 吾^{*1}・赤 枝 健 治^{*2}・小 泉 耕^{*3}・
中 里 真 久^{*4}・大 林 正 典^{*5}

1. はじめに

集中豪雨や突風、落雷等をもたらす激しい大気現象は、航空機や鉄道、沿岸海上交通等の安全確保に重大な影響を与える。しかし、それらの現象を時間的・空間的に十分な正確さをもって数時間以上に予測することは、きわめて難しい。現象の空間的広がりが小さく、持続時間も数時間以内と短いためである。それらの激しい大気現象についての短時間予報(しばしば「ナウキャスト」とも呼ばれる)の精度を改善することは、気象予測の分野において重要な課題となっている。気象庁は、(財)シップ・アンド・オーシャン財団の平成16年度海外交流基金による国際交流事業の一環として、2004年12月15日(水)から17日(金)にかけて「激しい気象の短時間予測技術に関する専門家会議」を東京の気象庁本庁で開催した。

本会議で主な検討の対象としたのは、高々2時間先までに起こる激しい対流現象の予測技術である。従来の短時間予報では、気象レーダー等による時間的・空間的にきめ細かい観測データを用いた、実況外挿手法が用いられてきた。激しい大気現象は、例えば夏季の

組織化された積乱雲群などによりもたらされることが多いため、時間的な変動が大きいのが特徴である。従来の予測手法では、現象の発達・衰弱の予測が困難であることが精度低下の大きな原因であると言える。したがって、現象の発生前に発生兆候を検出したり、環境場から激しい現象の可能性を見積もる技術がきわめて重要である。近年、高分解能数値予報モデルが運用されるようになり、また変分法を用いたデータ同化手法が実用化されたため、気象レーダーの観測値を同化することにより、現象のみならず周辺の気象場を解析することが可能になりつつある。その解析値を利用した予測手法は、短時間予報の精度向上につながる可能性のある新しい技術として注目される。

この会議を企画した直接のきっかけは、世界気象機関(WMO)の世界天気研究計画(WWRP)が短時間予報に関する初めてのプロジェクトとして、2000年にオーストラリアのシドニーで行なった短時間予報実証プロジェクト(シドニー2000予報実証プロジェクト:S2000FDP)の成果が発表された(Pierce *et al.*, 2004など)ことである。その実験には、先進的な短時間予測技術を持った世界の気象機関・研究所が参加し、それぞれの短時間予報システムの特長や精度が比較された。さらに、オーストラリア気象局は、各予測手法による予測結果を統合的に表示し、判断を加えて最終的な予報・情報を作成するシステムを構築し、実際の予報利用者にリアルタイムで予報を提供することにより、その社会的な有用性を検証した。S2000FDPの意義は、現状における最先端の短時間予測技術の集大成であるにとどまらず、観測データの交換から予測プログラムの作成、さらに社会的な効果の検証までを網羅する総合的な実験となったことである。本会議は、S2000FDPの実施を担当した研究者から、各予報シ

* Report on the International Workshop on Very Short-Range Forecasting of Severe Weather.

^{*1} Shingo YAMADA, 気象庁予報部数値予報課(現。気象庁気候・海洋気象部気候情報課)。
shingo.yamada@met.kishou.go.jp

^{*2} Kenji AKAEDA, 気象庁観測部観測課観測システム整備運用室。

^{*3} Ko KOIZUMI, 気象庁予報部数値予報課。

^{*4} Masahisa NAKAZATO, 気象研究所気象衛星観測システム研究部。

^{*5} Masanori OBAYASHI, 気象庁予報部業務課。

© 2005 日本気象学会

テムの特徴や得られた成果の報告を聞くことを大きな柱とした。

S2000FDPの成果の1つは、短時間予報が社会に利益をもたらすものとなるためには、気象予測研究者がその利用者と緊密にコミュニケーションをとり、予報がどのように意志決定に利用されるかを把握することが重要であることが、明確に認識された点にある。そこで、日本において激しい気象の短時間予報の利用者となる可能性がある分野（電力・洪水）の専門家を招き、その要望を聞くこととした。

また、最近、東アジア諸国でも、激しい気象の短時間予報の改善に向けた取り組みが強化されている。特に、WWRPの次の予報実証プロジェクトとして、2008年の北京オリンピックをターゲットとしたプロジェクトが計画されていることは、東アジア諸国における短時間予測の技術開発を活発化させる契機として注目される。そこで、東アジア諸国の短時間予測への取り組みについて最新の情報を交換することとした。

このような短時間予測技術に焦点を当てた会議は、日本では初めてと言えるものであった。多くの専門家が集い議論した本会議は、日本における激しい気象の短時間予測技術を高度化し、社会に利益をもたらすものとするために、非常に意義深かったと考える。

以下に、会議の概要と成果を報告する（文中、敬称は略しました）。

2. 参加者

オーストラリア気象局、カナダ環境省気象局、英国気象局、米国大気研究センター、中国気象局、香港天文台から合計9名の短時間予報研究者が参加した。また、財団法人電力中央研究所電力技術研究所、国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所から各1名が、電力供給および河川管理の専門家として参加した。気象庁からは予報部、観測部、気象研究所の関係職員6名が講演を行った他、延べ70名が聴講した。その他に、防衛庁気象群本部、(財)電力中央研究所、(株)ウェザーニューズ、日本気象予報士会などからも聴講者があった（第1図）。



第1図 会議参加者による集合写真。

3. 各セッションの概要

3.1 日本の気象庁におけるメソスケール現象の観測システムと短時間予報システム

気象庁観測部観測課観測システム整備運用室の木俣は、気象庁におけるメソスケール現象の観測システム、即ち地上気象自動観測網(アメダス)・気象レーダー観測網・空港気象ドップラーレーダー(DRAW)・ウィンドプロファイラ観測網(WINDAS)について紹介した。気象庁予報部予報課の辻村は、レーダー観測と高密度地上雨量計を用いた気象庁の現業雨量解析システムを紹介した。また、5 kmメッシュで6時間先までの降水量予測を行う降水短時間予報の詳細な作成手法を述べるとともに、1時間先までの10分間降水量を1 kmメッシュで予測する「降水ナウキャスト」を紹介した。気象研究所気象衛星・観測システム研究部の中里は、空港気象ドップラーレーダー観測データを用いて、2003年10月13日に成田市付近で発生したダウンバーストの事例解析を行った結果を示した。また、上空の雨水量とドップラー速度から得られた風の収束・回転を用いて、ダウンバーストを予測する研究成果を紹介した。

本セッションでは、激しい現象の短時間予測のための観測・解析・予測システムに関する日本の気象庁の現業業務・研究活動を海外の専門家に紹介し、その改善に向けての有益なコメントを得ることができた。日本の短時間予報研究者が海外の会議に出席し、発表を行う機会が少なかったため、日本での現業的な短時間予報の詳細について、海外の研究者には十分に知られていなかった。日本の潜在的な能力をアピールできた点で大変意義深かった。

3.2 観測から利用までを統合した最先端の短時間予報システム

オーストラリア気象研究所の Keenan は、S2000 FDP の概要と主な成果を示した。各国で独立に開発された最新の短時間予測技術が、開発国以外の地域でも適用可能であること、訓練された予報官が統合予報作業システムを用いて発表した短時間予報が社会的に有用なものであること、などが示されたことが大きな成果として強調された。

本セッションでは、S2000FDP に参加した 5 つの短時間予報システムのうち 4 つについて詳しい解説が行われた。

第 1 は、オーストラリア気象研究所で S2000FDP のために開発された対話型雷雨予測システム (TIFS) である (Bally, 2004)。これは、様々な短時間予報システムの解析・予測結果をウェブ技術により統一的に表示する機能と、文章形式および図形式の警報プロダクトを対話的な操作により自動的に作成する機能を持つ、対話型の予報プロダクト作成支援システムである。短時間予報の有効な期間は短いため、予報利用者に価値のある予報を提供するためには、予報者が素早く判断し迅速に予報を作成することが不可欠である。このため、TIFS のようなプロダクト作成支援システムが、非常に有効であったと報告された。

第 2 は、米国大気研究センター (NCAR) の Wilson によって紹介された Auto-Nowcaster である (Mueller *et al.*, 2003)。それは、雷雨の発生を時間的・空間的に限定して予測するという他に類を見ない特色を持つ。その予測は、ドップラーレーダーや気象衛星による観測値や 4 次元変分法を用いた風の解析値から算出される要素などの、いくつかの要素をファジー論理に基づいて合成することにより行われることが詳しく解説された。

第 3 は、カナダ気象局の Joe によって紹介されたレーダーによる判断支援システム (CARDS) である。カナダでは、1 人の予報官の担当する領域がきわめて広いので、どの降水システムが最も激しい現象を引き起こす可能性が高いかを示唆してくれるシステムが必要とされている。CARDS は、それぞれの降水セルについて多くの指標を算出し、激しい気象を引き起こす危険度が高い順に並べて提示する。予報官は、危険度の高い降水セルに着目し、その移動を表示すると共に、3 次元表示ツールにより任意の鉛直断面や指標の時間変化を表示して、将来の危険度を検討することができ

る。激しい現象をもたらす対流性の降水セルは、明瞭な立体構造を持っていることを前提としており、そのような兆候を見出すことができるように予報官を教育することが重要であることが強調された。

第 4 は、英国気象局の Golding によって紹介された Nimrod/Gandolf と呼ばれる短時間予報システムである (Golding, 1998)。このシステムは、レーダー等による解析値の外挿予測とメソスケール数値予報モデルの予報値を結合することにより、6 時間先までの予測が行なわれる唯一のものである。単に対流性の激しい気象だけでなく、降水種別 (雪・凍雨)、視程や雲底高度、河川流量、地上気温にいたる多様な気象要素を解析し予測する点も特色として挙げられる。そのために、レーダーの他に気象衛星画像、落雷データ、地上気象観測など様々な観測データを活用し、メソスケール数値予報モデルによる短時間の予報結果も用いて解析を行なう。現在のメソスケールモデルの水平分解能は 12 km であるが、2005 年中には 4 km に高解像化すること、さらに 1 km 分解能のモデルの試験を行なっていることが紹介された。

香港天文台の Li は、香港で現業運用が行なわれている局地豪雨の短時間予報警報システム (SWIRLS) を紹介した (Li and Lai, 2004a ; 2004b)。レーダーエコーの相関法による移動追跡を基本とする点では、日本の気象庁の降水短時間予報システムに似ているが、台風やスコールラインに伴う豪雨の予測に適したいくつかの先進的な技術を含んでいる。例えば、修正準ラグランジュ移流スキームやオブジェクト指向手法による対流セルの追跡、地上 GPS 観測網で観測された水蒸気量の利用などである。LAPS と呼ばれるデータ同化手法を適用して、熱帯低気圧の内部構造を解析することにより、強風の短時間予報も試みられていることが紹介された。アジア諸国では最も進んだ短時間予報システムであり、大きな可能性を秘めているように感じられた。

海外の短時間予報システムの特徴は、レーダーのような時空間的にきめ細かな観測値から激しい現象をもたらす対流性の降水システムを抽出し、その動きや盛衰を予測するという、いわゆるオブジェクト指向の考え方を取っていることである。その手法は、激しい現象だけに着目した短時間予測を行なう場合には、効率적であると考えられる。

短時間予報は、通常の短期予報に比べて有効な時間が短いため、できるだけ迅速に作成でき、予報の利用

者に伝達される必要がある。このため、人間(予報官)とのインターフェイスは、きわめて重要であり、予報官の簡単な指示や操作によって予報を修正でき、自動的に警報文や情報図を作成する機能を持つことが望ましい。本会議では、オーストラリア気象局の TIFS が、唯一、予報作成のための対話型のマン・マシン・インターフェイスを持つものであった。しかし、他のシステムも、予報官の判断を助ける精巧な表示機能を持っており、大変参考になった。

香港における短時間予測手法は、基本的には日本の気象庁と同じ降水域のパターン相関に基づいている。また、数値予報結果との合成を考えている点でも、共通している。しかし、同時に香港では、変分法を用いた最適移流ベクトルの利用、修正準ラグランジュ移流スキームなど、工夫されたアルゴリズムを適用する開発が意欲的に行なわれている。また、直近のレーダー反射強度と地上雨量計観測値を用いて、Z-R 関係式(反射強度と降水量を結びつける経験式)のパラメータを随時更新する手法が示された。これらは、日本での技術開発を考える上で大変参考になった。

3.3 メソスケール現象の最先端の解析システム

NCAR の Wilson は、2002年5月から6月に米国中西部で行なわれた国際 H₂O プロジェクト (IHOP-2002) の概要と成果を紹介した (Weckwerth *et al.*, 2004)。夏季の対流現象の発生とその位置を予測するためには、大気境界層内の水蒸気の水平分布を知ることがきわめて重要である。このプロジェクトの目的は、地上の固定式/移動式観測装置、航空機搭載の観測装置など、様々な観測手段を用いて、水蒸気の3次元構造を観測・解析することにより、激しい対流現象の発生・発達の機構を解明することにある。レーダーの屈折率を用いることにより、大気下層の水蒸気の水平分布が得られるという興味深い話題が示された。また、対流の発生位置の予測には、ガストフロントの検知と予測が重要であることが示された。

同じく NCAR の Crook は、ドップラーレーダーで観測された動径風速を4次元変分法によって高分解能モデルに同化する手法を紹介し (Sun and Crook, 2001; Crook and Sun, 2004)、この手法の有効性を示した。その解析結果は、前項で述べた Auto-Nowcaster への入力として用いられている。VVP などの手法を用いて、格子点上の風ベクトルに変換した風速を同化するよりも、動径風速の観測値を直接同化の方が精度良く解析できること、また、メソスケールにおい

ては静的なバランスは成り立たないので、カルマンフィルターや4次元変分法といった、時間変化を陽に扱うことのできる手法が必要であることが強調された。

数十分以上先の短時間予測の精度を向上させるためには、メソスケールの対流現象の発生・発達・衰弱を正しく予測するという困難な問題を克服する必要がある。通常の短時間予測システムは、新たな対流セルを発生させる機能を持っていない。米国大気研究センターの Auto-Nowcaster は、対流セルの発生の予測に取り組み、成功を収めた唯一のシステムである。対流セルの発生を予測するには、大気境界層内での風の収束を解析することが非常に有効である。非降水域からの弱いエコーから得られるドップラー動径風速を、4次元変分法を用いてメソスケールモデルと同化する手法が、対流セルの発生予測という困難な問題を解決する鍵となる技術であることが認識された。

気象研究所予報研究部の瀬古は、1999年7月21日の練馬豪雨を対象として、4次元変分法による GPS 水蒸気量とドップラーレーダーで観測された動径風速を同化した予報実験の結果を示した。水蒸気と風の場合の初期状態を正しく与えることが、豪雨の予測に不可欠であることが報告された。気象庁予報部数値予報課の本田は、非静力学メソスケールモデルを用いた変分法解析システム (JNoVA) を紹介した。このシステムは、4次元変分法同化システムとしても、3次元変分法同化システムとしても運用できる。前者は、非静力学メソスケールモデルの初期場を提供すること、後者は、予報官がメソスケール現象を解析するために毎時間の解析値を提供することを目的としている。また、同じ数値予報課の石川は、2003年8月5日に千葉県で発生した強雨について、水平分解能 3 km の非静力学数値予報モデルを用いた短時間予報実験の結果を報告した。米国で開発された LAPS システムを適用し、空港気象ドップラーレーダーで観測された動径風速から3次元変分法により風の場合を、反射強度から雲水量の3次元分布を解析し、それらを10分毎に予報場に同化して初期場を作成すると、1時間半予報において強雨域が再現できたことが報告された。

3.4 新しい短時間予測技術とアルゴリズム

オーストラリア気象研究所の Keenan は、スペクトル予測法 (S-Prog) と呼ばれる新しい予測手法を紹介した (Seed, 2003)。従来の実況外挿手法においては、降水域の空間スケールを意識することなく、一様に移

流させる。しかし、空間スケールの大きな構造ほど持続性が強く、予測可能性が高いことはしばしば経験されることである。S-Progでは、降水場を空間スケールで分解して、それぞれの空間スケールの振幅に2次の自己回帰モデルを当てはめて予測する。より小さな空間スケールをもつ構造ほど早く減衰するため、平均2乗誤差を小さくすることができる。また、英国気象局とオーストラリア気象研究所が共同開発しているS-Progを改良したSTEPSと呼ばれる予測手法が紹介された。小さな空間スケールの振幅に対し、確率的なノイズを加えて、多くの予測を行うことにより、アンサンブル予測を行う手法であり、現実的な降水確率の予測が可能であった例が示された。このような確率予測の試みは、香港でも実験中であり、短時間予測においても不可避な予報のズレを統計的に考慮し、表現する手段として注目された。

カナダ気象局のJoeは、ドップラーレーダーのオリジナルな観測データから個々の対流セルを抽出する手法を紹介した(Joe *et al.*, 2004)。災害を起こす可能性のある対流セルを検出することは基本的な処理であるが、観測データにはノイズが混入したり欠落があるため、それをコンピュータで自動的に行なうことはそれほど容易ではない。そのプロセスが、実例により詳しく解説された。また、雹の検出アルゴリズムの検証資料を示し、鉛直積算雨量と凍結高度が雹の発生や大きさを予測する良い予測因子となることを示唆した。

3.5 短時間予報が社会にもたらす効果

国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所の中谷は、2004年の台風第23号によってもたらされた石川県の大雨を事例として、河川管理の現場でどのような意志決定がなされているかを紹介した。水防活動の各ステージ、例えば、河川の見回り警戒時、水防活動時、避難勧告発令時等において、意志決定に必要とされる気象情報が異なることを、気象予報者は理解する必要がある。河川の集水域で平均した降水量と洪水の発生とは、高い関連性を持つので、現状の精度でも降水短時間予報を河川管理のために有効に利用できる可能性があることが示唆された。

オーストラリア気象局のAnderson-Berryは、S2000FDPにおいて実施された、短時間予報の社会的な効果の評価について、その目的と結果を紹介した(Anderson-Berry *et al.*, 2004)。短時間予報の利用者としては、オリンピック向けの気象予報を行う予報官と予報された結果の利用者の2段階が考えられる。予

報官を対象とした調査では、最新の短時間予測技術・システムは、発表される短時間予報の品質向上に役立つという結論であった。また、発表された短時間予報は、適切に利用されればその利用者に社会・経済的な利益をもたらすものであることが確認された。気象情報の利用者と緊密に意見交換し、利用者が何を必要としているのかを把握することが非常に重要であることが強調された。

(財)電力中央研究所の新藤は、電力供給における落雷被害のリスクについて講演した。現代社会は、電力や電子機器に大きく依存するようになったため、落雷によって引き起こされる突然の停電は、それが瞬間的な電圧低下であったとしても、大きな経済的損失を引き起こす。落雷位置の短時間予報が、1時間のリードタイムと数kmの位置精度をもって提供されれば、大きな経済効果を生み出すことが示唆された。その際、確率的な予報がリスク管理に利用可能であることも言及された。

短時間予報の潜在的な能力を社会の利益に利用するには、予報利用者のコミュニティと緊密に連携し、意志決定のプロセスやその各ステージにおいてどのような気象情報が必要とされているのかということ进行分析する必要がある。本セッションでは、S2000 FDPにおける成果が発表され、河川管理と電力供給の立場からの短時間予報への要請を聞くことができた。短時間予報を社会に役立つものにするためには、このような予報利用者との交流の機会をしばしば持つことが必要であり、本会議はその第一歩となるものである。

3.6 激しい気象の短時間予測技術の研究と普及に関する国際的活動と総合討論

WMOのWWRP運営委員会は、2008年夏到北京において予報実証実験(北京2008予報実証プロジェクト:B2008FDP)を実施することを承認した。その実務責任者である中国気象局北京気象台のWangから、B2008FDPの計画概要についての紹介があった。このプロジェクトの目的は、北京とその周辺領域についての気象情報、即ち0~6時間先の短時間予報と6~36時間先の短期予報を、北京オリンピック実行委員会に提供することである。前者は短時間予測技術を用いて作成され、後者はメソモデルを用いたアンサンブル予報により作成される計画である。続いて、中国気象局研修センターのYuが、B2008FDPの短時間予報部分に関する詳細な計画、即ちどのような観測データ、計算機資源、物資支援が利用可能か、について説明した。ドッ

プレーレーダー、ウィンドプロファイラ、自動地上気象観測装置等が新規に展開される計画とのことである。8月の北京の気候は、日降水確率約50%、発雷確率約25%であるため、対流性の激しい気象に関する短時間予報およびメソアンサンプル予報の有効性を検証するには、適した環境と考えられる。

最後に、国内、アジア、世界それぞれにおいて、激しい気象の短時間予測技術の研究開発を、研究・実用化の両面で活発化させる方策に関して、総合討論を行った。WWRPでは、短時間予測技術の研究・普及に関するいくつかの国際的な活動、例えば、国際シンポジウム、研修ワークショップ、ウェブサイトなどを推進している。例えば、2005年9月にフランスのツールーズにおいて開催される「WWRP ナウキャストと短時間予報に関する国際シンポジウム (WSN05)」への参加や、特定利用者に準定常的に予報を提供し評価を受ける「試行実験 (Testbed)」の実施などが推奨された。上述の B2008FDP もそのような活動の一つと言える。WWRP という国際的な枠組みの活動に日本の研究者が積極的に参加することにより、日本の短時間予測技術を発展・普及させるべきことが推奨された。

また、アジアの研究者や潜在的な短時間予報の利用者との協力・連携を強めるという方向性も確認された。東アジア諸国は、梅雨前線や台風による気象災害に代表される同じような種類の気象災害に苦しめられている。したがって、それらの国々との協力関係を強化し、短時間予測手法やその開発経験等を相互に交換することは、大変有益である。アジア諸国からの参加者との間で、そのような共通認識を持つことができたことは、今後の連携強化に向けて大きな一歩となった。

さらに、目先2～6時間における予報精度を向上させるためには、従来の実況外挿的な手法だけでは限界があることが認識されつつある。それを打破するためには、メソスケール数値予報モデルによる予測を有効に活用する必要がある。このためには、レーダー観測を中心とする研究者コミュニティとメソスケール数値予報モデルの開発を行なっている研究者コミュニティが連携を強化する機会をもつ必要がある。上記のWSN05はそのような機会を提供するものであり、日本の短時間予報研究者のみならずメソスケール数値予報モデルの研究者が積極的に参加することが推奨された。

5. おわりに

長い間、レーダー観測値の運動学的な外挿による予測技術だけと見られていた短時間予測技術は、数値予報モデルの高分解能化とデータ同化技術の発展により、新たな発展を見せようとしている。観測システムにおいても、既に展開されている空港気象ドップラーレーダーに加えて、一般レーダーのドップラー化が進められようとしている。レーダーによる風の観測データは、レーダーの利用価値を大きく高めると期待される。殊に、非降水エコーから得られる風の情報を活用すれば、対流性降水の発生を雨滴が形成される前から予測できる可能性がある。このことは、短時間予測技術に大きな進歩をもたらすのではないかと感じられた。これらの先進的な短時間予測技術と短時間予報システムに関する情報が得られたことは、大変意義深かった。

激しい気象の短時間予測技術は、防災・減災活動に直接利用していただけるだけの時間的・空間的なきめ細かさを持っている点が特徴であり、究極の気象予測技術と言える。しかし、未だ短時間気象予測の社会的な認知度は低く、短時間予報が真に社会に有益なものとなっているとは言えない。気象技術者と予報利用者との交流が盛んになり、短時間予報の精度や利点・欠点に関する認識が共有されれば、短時間予報の社会的価値は大きく上昇すると考えられる。残念ながら、日本の大学や民間企業における、短時間予測技術や短時間予報の利用技術に関する研究は低調といわざるを得ない。本会議が、国内におけるそれらの研究開発が活発化するきっかけとなれば、幸いである。

なお、本会議の概要と成果についての報告物(英文：講演資料CD-R付)を希望される方は、主著者までご連絡下さい。

謝 辞

本会議はシップ・アンド・オーシャン財団の財政的支援なしでは、開催できなかった。財団のご理解とご支援に深く感謝します。また、気象庁の山田隆司、高野清治、木村陽一、米満由光、安藤昭芳、龍崎 淳、新美和造、工藤 淳、峯 宏太郎、長澤亮二、大橋康昭、新堀敏基、石井久子の各位には、会議の準備・運営において多大なるご助力・ご協力をいただいた。ここに深く謝意を表します。

略語一覧

B2008FDP : Beijing 2008 Forecast Demonstration Project 北京2008予報実証プロジェクト
 CARDS : Canadian Radar Decision Support system カナダレーダー判断支援システム
 DRAW : Doppler Radar for Airport Weather 空港気象ドップラーレーダー
 Gandolf : Generating Advanced Nowcasts for Deployment in Operational Land-surface Flood forecast system 現業洪水予報用先進的ナウキャスト作成システム
 GPS : Global Positioning System 汎世界測位システム
 IHOP-2002 : International H₂O Project-2002 国際H₂Oプロジェクト
 JNoVA : JMA Nonhydrostatic model based Variational Data Assimilation System 日本気象庁非静力学モデルによる変分法データ同化システム
 LAPS : Local Analysis and Prediction System 局地解析予報システム
 NCAR : National Center for Atmospheric Research 米国大気研究センター
 Nimrod : Nowcasting and Initialization of Modeling using Regional Observation Data system 地域観測データを用いた初期場解析とナウキャストシステム
 S2000FDP : Sydney 2000 Forecast Demonstration Project シドニー2000予報実証プロジェクト
 S-Prog : Spectral Prognosis スペクトル予測法
 STEPS : Short-Term Ensemble Prediction System 短時間アンサンブル予報システム
 SWIRLS : Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized Systems 局地的な激しい雷雨の短時間警報システム
 TIFS : Thunderstorm Interactive Forecast System 対話型雷雨予報システム
 WINDAS : Wind Profiler Network and Data Acquisition System 局地的気象監視システム
 WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関
 WSN05 : WWRP Symposium on Nowcasting and very short range forecasting 2005 世界天気研究計画ナウキャストおよび短時間予報に関する国際シンポジウム
 WWRP : World Weather Research Program 世界天気研究計画

R. Leigh and D. King 2004 : The societal, social, and economic impacts of the World Weather Research Programme Sydney 2000 Forecast Demonstration Project (WWRP S2000 FDP), *Wea. Forecasting*, **19**, 168-178.
 Bally, J. 2004 : The thunderstorm interactive forecast system : Turning automated thunderstorm tracks into severe weather warnings, *Wea. Forecasting*, **19**, 64-72.
 Crook, N. A. and J. Sun 2004 : Analysis and forecasting of the low-level wind during the Sydney 2000 Forecast Demonstration Project, *Wea. Forecasting*, **19**, 151-167.
 Golding, B. 1998 : Nimrod, A system for generating automated very short range forecasts, *Meteorol. Appl.*, **5**, 1-16.
 Joe, P., D. Burgess, R. Potts, T. Keenan, G. Stumpf and A. Treloar 2004 : The S2K severe weather detection algorithms and their performance, *Wea. Forecasting*, **19**, 43-63.
 Li, P. W. and E. S. T. Lai 2004a : Short-range quantitative precipitation forecasting in Hong Kong, *J. of Hydrol.*, **288**, 189-209.
 Li, P. W. and E. S. T. Lai 2004b : Applications of radar-based nowcasting techniques for mesoscale weather forecasting in Hong Kong, *Meteorol. Appl.* **11**, 253-264.
 Mueller, C., T. Saxen, R. Roberts, J. Wilson, T. Betancourt, S. Dettling, N. Oien and J. Yee 2003 : NCAR Auto-Nowcast System, *Wea. Forecasting*, **18**, 545-561.
 Pierce, C. E., E. Ebert, A. W. Seed, M. Sleight, C. G. Collier, N. I. Fox, N. Donaldson, J. W. Wilson, R. Roberts and C. K. Mueller, 2004 : The nowcasting of precipitation during Sydney 2000 : An appraisal of the QPF algorithms, *Wea. Forecasting*, **19**, 7-21.
 Seed A. W., 2003 : A dynamic and spatial scaling approach to advection forecasting, *J. Appl. Meteor.* **38**, 381-388.
 Sun, J. and N. A. Crook 2001 : Real-time low-level wind and temperature analysis using single WSR-88D data, *Wea. Forecasting*, **16**, 117-132.
 Weckwerth, T. M., D. B. Parsons, S. E. Koch, J. A. Moore, M. A. LeMone, B. B. Demoz, C. Flamant, B. Geerts, J. Wang and W. F. Feltz 2004 : An overview of the International H₂O Project (IHOP_2002) and some preliminary highlights, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **85**, 253-277.

参考文献

Anderson-Berry, L., T. Keenan, J. Bally, R. Pielke Jr.,