

メソスケールデータ同化に関する NCAR 夏期 コロキウム参加報告*

青 梨 和 正**

1. はじめに

1990年6月6日～7月3日の間に、NCAR (National Center for Atmospheric Research: 米国コロラド州ボルダー市) でメソスケールデータ同化 (以下 MDA と略す) に関する夏期コロキウムが開催された。このコロキウムは、MDA を中心とした、データ同化 (以下 DA と略す) の各分野にわたる広範囲なものであった。私はこのコロキウムに参加することができたので、以下の項目について報告する。

- ① NCAR 夏期コロキウムの紹介 (§-2)
- ② 今回のコロキウムの内容 (§-3)

2. NCAR 夏期コロキウムとは

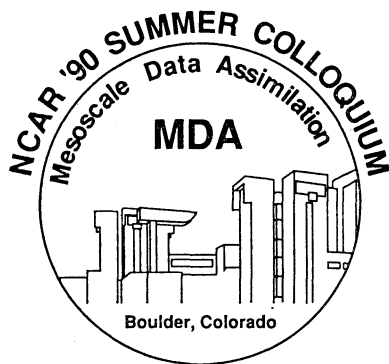
2.1 コロキウムの目的と組織

このコロキウムは、大気科学の各分野の研究者の育成を目的とする。従って、主に気象学関係の大学院生および学位取得者を対象としている。

コロキウムの主体は、毎年のテーマについての招待者の講義である。この講義の中でテーマに関連する分野の、研究の現状及び将来性が論じられる。コロキウムを構成するもう一つの要素は、参加者各自の研究発表である*1。

コロキウムの内容の記録として、参加者は、割り当てられた授業の講義録を作成する。これは、参加者の発表のアブストラクトも含んでいる。

今回のコロキウムは、NCAR の ASP (Advanced Study Program: 研究者の育成を担当するセクションである第2図参照)。MMM (Mesoscale Microscale Meteorology division), そして STORM Program Office が共催した。



第1図 NCAR コロキウム '90 のマーク

コロキウムは、MMM の建物内で行われた。コロキウムの実務担当者は、MMM の Ying-Hwa (Bill) Kuo および NOAA/FSL (Forecasting System Laboratory) の Tom Schlatter の2人が務めた。彼らが、MMM の2人のセクレタリーと共に事務局を作って、コロキウム参加者の世話から事務的な手続きまでを引き受けていた。

2.2 コロキウムへの参加手続きと参加者に対するサポート

毎年、NCAR は参加者募集を世界中に呼びかける。私が今回のコロキウムを知ったのは、昨年の1989年12月に届いた、この募集の手紙によってである。参加希望者は、ASP へてに応募書類と推薦状 (3通) をおく。私の場合、応募の手紙を1月末に送って、参加を認める通知が来たのは4月上旬だった。

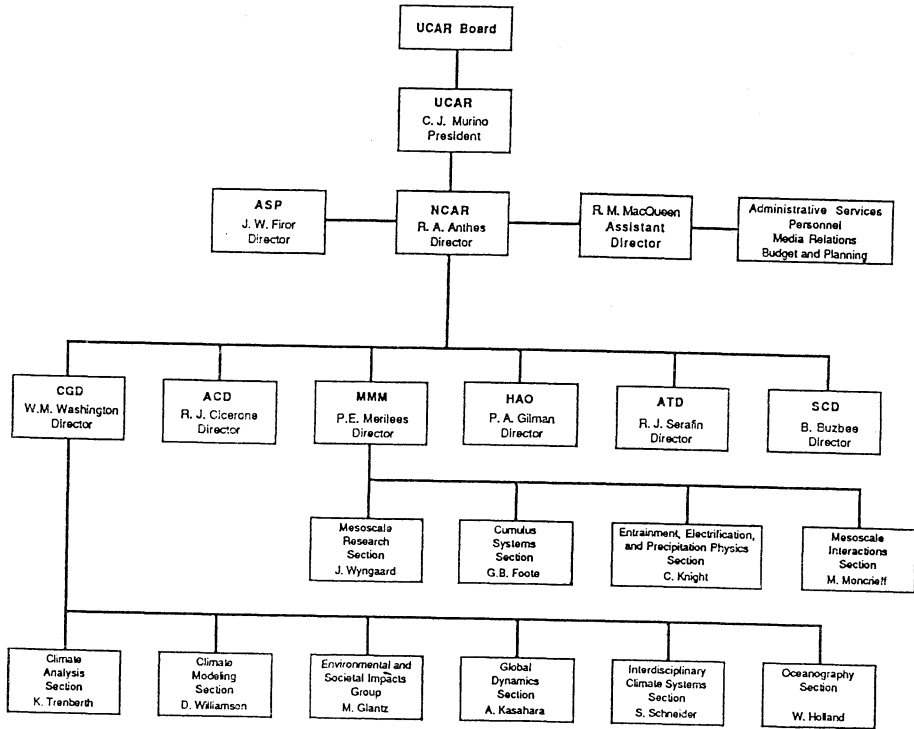
参加者は、コロキウム期間中 NCAR の非常勤職員と

* Report on the NCAR Summer Colloquium on Mesoscale Data Assimilation.

** Kazumasa Aonashi, 気象研究所予報研究部.

*1 私は気象学会 (1990年春) での発表を基にした「Incorporating Precipitation Data into the Initialization of Mesoscale NWP Model」という題で発表をした。

NCAR ORGANIZATION



第2図 NCAR 組織図 (1989年現在)

同等の資格を得た。我々の受けた NCAR の経済的なサポートの主なもの以下通りである。

- ① 参加者の宿泊費 (参加者はコロラド大の寮に宿泊した。)
- ② 大学のカフェテリアでの朝食、夕食代
- ③ MMM の端末や消耗品の使用
- ④ 寮と MMM 間のバスによる送迎
- ⑤ 雑費 (\$ 400) の支給
- ⑥ 旅費の支払い (ただし国内参加者のみ)

これらのサポートは、財政的に恵まれない大学院生の参加を可能にしている。外国人である私にも、同様にサポートが与えられた。

2.3 コロキウムの参加者

今回の参加者は 15ヶ国、55名であった。Bill Kuo によると、「これは例年の約 2 倍の人数である。応募者が、各国の MDA に対する関心の高さを反映して、非常に多かった。我々もできる限り多くの参加のために努力し

た。」

コロキウムの目的上、参加者は大学院生が主体だった。しかしテーマを反映して、各国の気象局の技術者や研究者も多かった。様々な背景を持つ研究者の参加が今年の特色である。

地域別でみると中国語圏の人が目だった。中国、台湾、マレーシアから 10 名以上の研究者が参加していた。日本人は、私の他に、上吉さん (カリフォルニア大) と井出さん (ニュージャージー州立大) が参加した。

3. コロキウムの内容について

3.1 コロキウムの概略

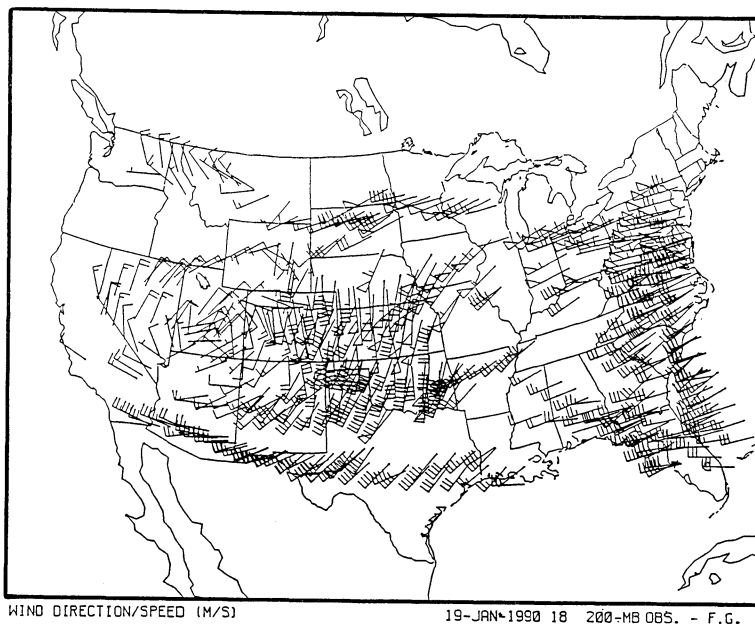
コロキウムでは 43 のレクチャーが行われた；レクチャーは 9 つのセッションに分けられていた (表 1 参照)。各レクチャーの授業時間は約 2 時間 (# 35 以降は約 1 時間) だった。以下各セッションで、私が興味を持ったことについて述べる。

第1表 ACARS コロキウム '99 のスケジュール表

SESSION 1: OBSERVING SYSTEMS		
# 1	The Wind profiler	Schlatter
# 2	Radio-Acoustic Sounding System (RASS)	Strauch
# 3	Field Trip to Platterville Site	Van de Kamp
# 4	Operational U.S. Observing systems for the Early '90s	Schlatter
SESSION 2: RETRIEVAL TECHNIQUES		
# 5	Satellite Radiometric Retrieval	Hayden
# 6	Retrieval of Thermodynamic Variables from Remote Measurements of Wind and Thermal Radiation	Gal-Chen
# 7	Cloud Microphysics Inferred From Scanning Doppler Radar Data	Ziegler
SESSION 3: OBJECTIVE ANALYSIS METHODS		
# 8	Overview of Objective Analysis	Daley
# 9	Function Fitting	Daley
# 10	The Method of Successive Corrections	Daley
# 11	Introduction to O/I	Schlatter
# 12	Correction Models for 3 dimensional, Multivariate O/I	Schlatter
# 13	Spectral Characteristics of O/I	Schlatter
SESSION 4: INTRODUCTION TO DATA ASSIMILATION		
# 14	The Basic Theory of DA	Daley
# 15	Direct Insertion Methods	Daley
SESSION 5: QUALITY CONTROL		
# 16	Quality Control Procedures at The NMC	Dimego
# 17, 18	A Bayesian Approach to QC	Lorenc
SESSION 6: INITIALIZATION		
# 19	Basic Theory of NNMI	Daley
# 20	Initialization with Lateral Boundaries	Daley
# 21	Newtonian Nudging: A 4 dimensional Approach to DA	Seaman
# 22	Intialization with Diabatic Effects Included	Carr
SESSION 7: VARIATIONAL APPROACHES		
# 23	Background on Variational Calculus	Daley
# 24, # 25	Introduction to Adjoint Methods	Lewis
# 26, # 27	Variational Assimilation with the Adjoint Methods	Talagrand
# 28, # 29	Data Assimilation Methods: A Synthesis	Lorenc
# 30	Data Assimilation Methods: Nonlinear Approaches	Lorenc
SESSION 8: OPERATIONAL MESOSCALE SYSTEMS		
# 31	The UKMO Operational Mesoscale NWP System	Golding
# 32	Status Report on the French Mesoscale Operational NWP System	Geleyn
# 33	HIRLAM and Use of HIRLAM Data in the Swedish PROMIS System	Gustafsson
# 34	Application of a Nudging Technique to Model-based Diagnostic Study	Uccellini
# 35	Regional Data Assimilation Activities at the U.S. NMC	Petersen
SESSION 9: APPLICATIONS		
# 36	Contributions of Non-Conventional Data Sources to a 3 hourly Intermittent Assimilation Cycle	Benjamin
# 37	Assimilation of Wind Profiler Observations for Short-Range Forecasts	Kuo

第1表 つづき

# 38, # 39	Quality Control and Use of Satellite Data	Andersson
# 40	The Utilization of Assimilated Data for Scientific Studies	Jahnson
# 41	Lagged Innovation Covariances: Serial Correlation and Other Applications of KB Theory to DA	Daley
# 42	Assimilation Research at CAPS (the Center for Analysis and Prediction of Storms)	Li
# 43	DA Activities Within the national STORM Program	McPherson



第3図 ACARS による 200 MB 面の風向風速の観測データ

3.2 セッション1, 2について

観測システムの講義で注目したことは次の通りである:

1) 米国において、プロファイラーの観測ネットワーク (30 基, 水平解像度 360 km, 時間分解能 1 時間) が構築中である (# 1).

2) プロファイラーに音波発生器を付加した, RASS による温度のリモートセンシングが研究されている. (# 2)

3) 航空機レポートの自動化システム, ACARS (ARINC Communication Addressing and Reporting System) によって, jet 付近を中心とした風速のデータが

豊富に入手できる. (#4, 第3図参照)

6 では, リモートセンシングの時系列データを弱い拘束条件とした, 変分法的 4 次元同化法 (Gal-Chen 技法) が論じられた. (Gal-Chen, 1983) この方法は VAS (VISSR Atmospheric Sounder) やプロファイラーのもつ時間分解能の高さを予報に生かそうとする手法である. # 5 で指摘された, 衛星データの鉛直分解能の粗さの問題を克服する方法の 1 つである.

3.3 セッション3, 5について

セッション3では最適内挿法 (O/I) を中心とした客

*2 Nudging とは, 肘でつつくことである.

観解析のレビューが行われた。

O/I の講義 (# 11, 12, 13) では、O/I の原理についての説明の他に、

① 2次元等方性流の仮定を使った、予報誤差分散行列の統計的モデル

② O/I における、Filtering 及び Interpolation のスケール依存性が論じられた。(Hollingsworth, 1987)

セッション5で興味深かったのは、Lorenz の QC (Quality Check) へのベイズ法のアプローチ (# 17-18, Lorenz and Hammon, 1988) である。この方法の目的は、非ガウス分布をする Gross Error を判定する、合理的基準を求めることである。彼の方法は以下のである。

- 1) Gross Error の分現確率 $P(G)$, Gross Error データの統計的分布 $P(O|G)$ 等を調査する。
- 2) 1つの観測データが Gross Error である確率 $P(G|O)$ をベイズの法則: $P(G|O) = P(O|G)P(G)/P(O)$ を用いて評価する。

3.4 セッション6について

19, 20 では、おもに非線形ノーマルモードイニシャルゼーション (NNMI) のレビューが行われた Daley, 1981). 講師の Daley は、どのモードに対して重力波成分の Filtering を行うかに慎重でなければならないことを強調した。

Carr の講義 (#22) では、非断熱項 (特に降水による) を含めた初期値化が論じられた。このレクチャーでは、非断熱加熱がある場合の大気の力学的バランスの問題が提起された (Errico, 1990)。

3.5 セッション4, 7について

ここでは、4次元同化の手法として、① Newtonian Nudging (# 21) ② Adjoint 法 (# 24-27) ③ KB (Kalman Bucy) フィルター (# 40) を紹介する。

Newtonian Nudging *4は次のようなものである:

1) データ同化期間中 Nudging 項を予報方程式に加えて時間積分をする。

2) Nudging 項は、状態量の、観測値 (X_0) と予報値 (X_p) の差に比例する。: $G(X_p - X_0)$

この方法の長所は簡便さであり、短所は係数Gの決め方が難しいことである*3。

*3 講師の Seaman は「Gの決め方は Science ではなくて Art だ。」と冗談を言った。

<Intro, Duction to>
= <*Ad joint, method>

Notes by
J.M. Lewis
1990



von das Skizzenbuch
H. Kley
circa 1909

→ time

Top of War
Toussaint

第4図 Lewis の講義ノートの表紙「Adjoint 法の芸術的表現」

Adjoint 法は変分法の1技法である。変分法による4次元同化は、

1) 同化期間中のモデル予報値と観測値との差のノルム $J = \int_{t_0}^{t_1} \int_V |X_0 - X_p|^2 dV dt$ の初期値 $X_p(t_0)$ についての勾配を求める。

2) 共役勾配法等を使って、Jをより小さくする $X_p(t_0)$ を求める。

Adjoint 法は上記の勾配の計算にあたって、予報方程式系を強い拘束条件として用いる。

Lewis (# 24, 第4図参照) は Adjoint 方程式を Lagrange の未定係数法を使って導出した。また、Talagrand (# 26, 27) は差分形式の予報方程式から Adjoint 方程式を計算した。また彼は、Adjoint 法によって (初期条件のほか) 側面境界条件の最適化が図れることを示唆した。(Talagrand, 1985)

KB フィルターは、予報方程式が完全ではないと前提して、O/I を4次元的に拡張した方法である: ある時間ステップの状態量の最適推定値 X_q^{t+dt} を①1ステップ前の最適推定値 X_q^t から作ったモデル予報値 $\Psi(X_q^t)$ と②当時刻の観測値 X_0^{t+dt} から統計的最適に内挿する。(Ghil et al, 1981)

3.6 セッション8, 9について

ここでは各国のメソスケール予報システムの特徴を、MDA システムを中心に述べる。(第2表参照)。

イギリス気象局 (UKMO) は、水平解像度 15 KM の非静力学モデルを開発した (# 31)。このモデルは精巧なパラメタリゼーションを持ち、予報変数の中に①乱流の運動エネルギー②雲水量③各格子点の雲量の割合を含む (Golding, 1990)

第2表 各国のメソモデルの対照表

	UKMO モデル (英)	PERIDOT (仏)	HIRLAM	ETA モデル (NMC)	MAPS(NOAA/ ERL)
方程式系 水平分解能 鉛直	非静力 15 KM Z系 16層	静力 35 KM σ 系 15層	静力 50 KM σ -p hybrid 16層	静力 30 KM η 系 30層	静力 80 KM θ - σ hybrid 18層
対流 パラメタリゼー ション 接地境界層 大気境界層	Fritch & Chapell (1980) Monin & Obkhov 相似則 Mellor & Yamada level 2.5	Geleyn (1985) Louis (1982) K-theory	Kuo 型 Monin & Obkhov 相似則 混合距離理論	unknown unknown unknown	Anthes-Kuo 型 未定 未定
側面境界値 データ同化 サイクル	ファインメッシュ モデル (75 km) 3 時間間隔 (連続的)	北半球スペクトル モデル (T 79) 12時間間隔 (間欠的)	ECMWF モデル (12時間前の予報) 6 時間間隔 (間欠的)	unknown 3 時間間隔 (間欠的)	NGM (80 km) 3 時間間隔 (間欠的)
unconventional data の利用	IMI (本文参照)	TOVS データの 直接利用	降雪, 海水温 海氷データ	プロファイラ ACARS, VAS	ACARS (VAS)
客観解析 NNMI	3次元1変量 O/I NO	3次元多変量 O/I YES	3次元多変量 O/I YES	unknown unknown	3次元多変量 O/I (θ 系) YES

その MDA システムの特徴は次の通りである：

1) 3時間間隔の連続的同化法 (モデルの時間積分の間に観測値と予報値の差を繰り返しモデルに投入する) を使う。

2) 衛星, レーダー, SYNOP 等のデータを予報官が解析する。その結果を概念モデルを通して数値化して予報モデル初期値に含ませる (IMI: Interactive Mesoscale Initialization)。

UKMO モデルの欠点として Golding が指摘したのは、予報のはじめの段階で高周波の重力波が非常に大きいことである。彼は NNMI の様な方法が非静力学モデルにも必要であると示唆した。

フランス気象局のメソスケールモデル: PERIDOT の MDA は、NOAA 衛星の TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) 放射データの (観測-予報) インクリメントを計算し、これを温度や湿度の O/I に利用している。(Durand, 1985)

また講師の Geleyn は次期モデルの開発目標として以

1991年1月



第5図 SVRM (Spectral Variable Resolution Model) の「ドゴール主義的」投影法

下を示した：

① 側面境界のないメソスケールモデル：SVRM の開発 (Courtier and Geleyn, 1988；第5図参照)*⁴

② 大規模スケール降水と積雲スケール降水過程を統合したパラメタリゼーション

33 で紹介された HIRLAM (High Resolution Limited Area Modeling) は、北欧諸国及びオランダ、アイルランドが共同開発しているメソスケール予報モデルである。この講義で強調されたのは、局地モデルにおける DA には正確な側面境界条件が必要なことである (Gustafsson, 1990)

米気象局 (NMC) の報告 (# 35) で特筆すべきことはプロファイラー、ACARS、VAS 等のデータを使った3時間間隔の間欠の同化システムの実用化実験が行われていることである。

36 では、NOAA ERL (Environmental Research Laboratories) で開発中の研究用モデル：MAPS (Mesoscale Analysis and Prediction System) が話題となった。MAPS の特徴は：

① θ (温位) 座標系での3次元 O/I_0^* の採用 (ACARS の jet 付近のデータを有効に使うため)

② σ - θ HYBRID 系を用いた数値予報モデル

③ 3時間間隔の間欠データ同化サイクル

Kuo は (# 37)、風プロファイラーネットワークデータの PSU/NCAR メソモデルへの同化に関する研究を紹介した：

1) Newtonian Nudging を使って風のデータを動的に同化する。(Kuo and Gao, 1989)

2) 風の時系列データから温度、高度を Retrieving する。(Kuo et al, 1987)

4. おわりに

4.1 コロキウムの内容についての感想

DA の前提の1つは「モデルの初期値に対して観測データが少ない」ことである。この問題を克服するために、DA は何らかの拘束条件を導入する。大規模スケールの場合、準地衡風近似などの概念が大きな柱となって、成果を生んでいる。今回のコロキウムでも、この様な大規模スケールの DA の講義が主となった感がある。

*⁴ Map Factor の操作により全球モデルの解像度を局部的にあげている。

*⁵ 来年度 (1991 年) のコロキウムの主題は「Research Problems in Atmospheric Chemistry」だそうです。

それに対して、MDA における適当な拘束条件の研究は始まったところで、MDA はその初期段階にあるという感想を持った。

4.2 コロキウムの運営についての感想

今回のコロキウムに参加して米国の気象学研究の一端を垣間見ることができたと思う。コロキウムの運営について感心したのは：

1) NCAR のような研究機関に研究者育成の部局 (ASP) がある。

2) 「若手の研究者育成」のためのコロキウムが毎年開催されている。

3) コロキウムのために指導的研究者が集まる。彼らと討論することで得るものは大きい。

4) 同じ分野を専攻する、世界中からの参加者と交流を持つことができた。

私は、この様なコロキウムが我が国においてももたれることを希望している。しかし当面は、皆さんに NCAR コロキウムの様な機会への積極的参加をお奨めする*⁵。

5. 謝 辞

日本気象協会の小倉義光先生には推薦状と、コロキウム参加についての貴重なアドバイスを頂きました。また気象研究所台風研究部の山岬正紀室長と同予報研究部の丸山健人室長にも推薦状を書いて頂きました。コロキウム応募の書類作成においては、台風研究部田中実主任研究官に助力を頂きました。ポールダー滞在中には、Bill Kuo, Tom Schlatter をはじめとするコロキウム担当者および村上正隆博士に大変お世話になりました。嘉味田宗治気象研究所予報研究部長はじめ気象研究所総務課、気象庁企画課には、研究交流集会参加認定のためご尽力頂きました。この方々に謝意を表します。

参考文献

- Courtier, P. and J.F. Geleyn, 1988: A global numerical weather prediction model with variable resolution: application to shallow-water equations. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 116, 1321-1346.
- Daley, R., 1981: Normal mode initialization. *Dynamic Meteorology: Data assimilation Methods*, L. Bengtsson, M. Ghil and E. Kallen, Eds., Springer-Verlag, 330 pp.
- Durand, Y., 1985: The use of satellite data in French high resolution analysis. *Proceedings of ECMWF Workshop on High Resolution*

- Analysis 24-26 June 1985.
- Errico, R.M., 1990: An analysis of dynamic balance in a mesoscale model. *Mon. Weather Rev.*, 117, 558-572.
- Gal-Chen, T., 1983: Initialization of mesoscale-models: The possible impact of remotely sensed data. *Mesoscale Meteorology: Theories, Observations and Models*, D.K. Lilly and T. Gal-Chen, Eds., Reidel, 781 pp.
- Ghil, M., S. Cohn, J. Tavatzis, B. Bube and E. Isaacson, 1981: Applications of estimation theory to numerical weather prediction. *Dynamic Meteorology: Data assimilation Methods*. L. Bengtsson, M. Ghil and E. Kallen, Eds., Springer-Verlag, 330 pp.
- Golding, B.W., 1990: The Meteorological Office mesoscale model. *Met. Mag.*, 119, 81-96.
- Gustafsson, N., 1990: Sensitivity of limited area model data assimilation to lateral boundary condition fields. *Tellus*, 42 A, 109-115.
- Hollingsworth, A., 1987: Objective analysis for numerical weather prediction. *Short- and Medium-Range Numerical Weather Prediction*. T. Matsuno, Ed., Meteorological Society of Japan. 831 pp.
- Kuo, Y.H., D.O. Gill and L. Cheng, 1987: Retrieving temperature and geopotential fields from a network of wind profiler observations. *Mon. Weather Rev.*, 115, 3146-3165.
- Kuo, Y.H. and Y.R. Guo, 1989: Dynamic initialization using observations from a hypothetical network of profilers. *Mon. Weather Rev.*, 117, 1975-1998.
- Lorenc, A.C. and O. Hammon, 1988: Objective quality control of observations using Bayesian methods: Theory and Practical implementation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 114, 515-543.
- Talagrand, O., 1985: The adjoint model technique and meteorological applications. *Proceedings of ECMWF Workshop on High Resolution Analysis 24-26 June 1985*.

「合同大会」開催の案内

講演企画委員会

来る4月上旬に地球惑星科学関連学会の第2回合同大会が開催されます。これまでにも総会および本誌にて話題になることがありましたので御存知の方も多いたは思われますが、念のため、合同大会について紹介しておきます。

日本における地球科学関連の学会は、それぞれの専門分野毎にこまかく分れているのが現状です。しかし、昨今の地球環境問題の高まりにも関連して、各分野間の壁を乗り越えようとする動きがあります。気象関係では、気候に関連する分野どうしで交流が活発になってきているのは周知の通りですが、一方、固体地球を対象とする分野どうしでも交流が盛んになっています。

この情勢を受けて、固体地球関連の5学会、すなわち地震学会、火山学会、測地学会、地球電磁気・地球惑星間物理学学会、地球化学会らはそれぞれの春季大会を同一場所にて開催し、共通の話題については共通セッションを実施するなど、5学会間の交流を試みています。その第1回の合同大会の試行は、昨年の4月上旬に東京工業

大学にて行われました。当然ながら、合同大会のメリット、デメリットがあるようですが、3回試行を行った上で、続行するかどうかを決めることになっています。

我が気象学会は、全面参加は難しいので、適当な共通テーマがある場合には共催シンポジウムなどを開催するという形で対応することになっています。来る合同大会では、別記(??ページ)のように、「オゾン研究の展望」というテーマで、部分的に参加します。関心ある気象学会員の多からんことを期待しています。

名称：地球惑星科学関連学会1991年合同大会

日時：1991年4月2日(火)～5日(金)

場所：共立女子大学八王子校舎(東京都八王子市)

案内：JR中央線高尾駅、無料スクールバスあり

(10分)

問合せ先：木田秀次(気象学会講演企画委員会)

気象研究所(つくば市長峰1-1)

Tel. 0298-51-7111)

1991年1月