

寒気吹出時の東支那海上の逆転層の統計*

本 多 庸 浩** 藤 田 敏 夫**

要 旨

冬期に寒気が東支那海上を吹き出すときに、海面上の混合層の上端に顕著な逆転層が形成される。名瀬、那覇、石垣島の9年間の高層観測資料(700 mb~900 mb)を用いて、この逆転層の発現回数、高度、強さなどの季節変化と海面からの顕熱補給、大規模場の鉛直流などとの関係を統計的に解析した。

1. はじめに

冬期、東支那海における寒気の吹き出しの際に形成される逆転層は、吹き出しの強さや吹き出し期間の段階によっても異なるがいずれにしても、暖い海面から強い熱補給を受けて生ずる自由対流により下限の高さが決まり上限の高さは高気圧性気流による沈降の最もつよい層によって支配されるものと考えられる(斉藤, 1978)。

また寒気流出が充分続いたあとの逆転層の高さは一般的には南に行く程高くなるが、その初期では北に高く南に低い場合もある(藤田, 1975)。

この研究で逆転層という場合、それが極前線なのか、それとも、極気団が海上を吹走する間に発達した二次的境界なのかという問題がある。あとで示す、データ収集の基準だけでは、両者のいずれかを判定することは困難であるが、AMTEXにおける逆転層観測の結果から考えると、今回の資料の選び方では斉藤(直)(1978)も述べているように700 mb以下に見られる逆転層は多くの場合、下層の極気団内の対流混合で強化されたものと見てよいであろう。

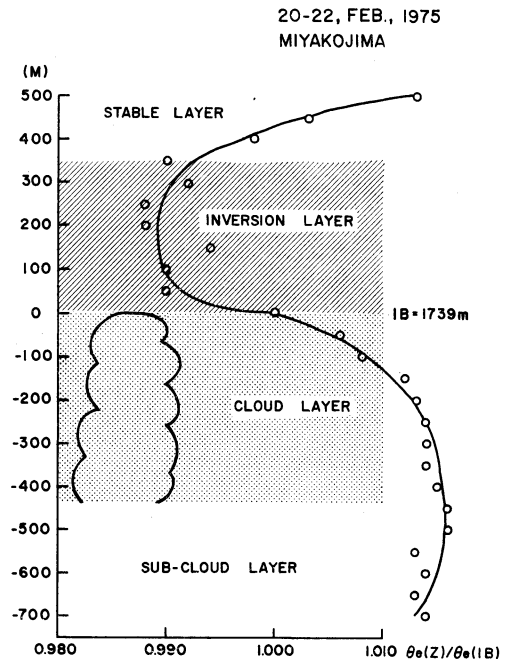
なお、参考までに1958年のIGY期間中の1月~3月の140°E線に沿う鉛直断面図から今回と同じ基準で選ばれた鳥島~硫黄島付近に形成される対流混合層による逆転層と、極前線の相対度数をみると、極前線のみ場合は全体の37%でその下層に対流混合層の上部の逆転層を伴う場合が63%となっている。この研究では、寒候期に東支那海に出現する逆転層について名瀬、那覇と石垣島

の9年間の高層観測資料を用いて、旬毎の出現回数、出現高度、逆転強度の季節的变化、および海面からの顕熱補給量や大規模場の鉛直流との関係などを検討する。

なお、冬期南西諸島の逆転層の性質は航空機の安全運行にとって、大切な情報の1つであるといえよう。

2. 東支那海における冬期逆転層の典型例

1975年2月、われわれは、宮古島の北端、西辺名岬に



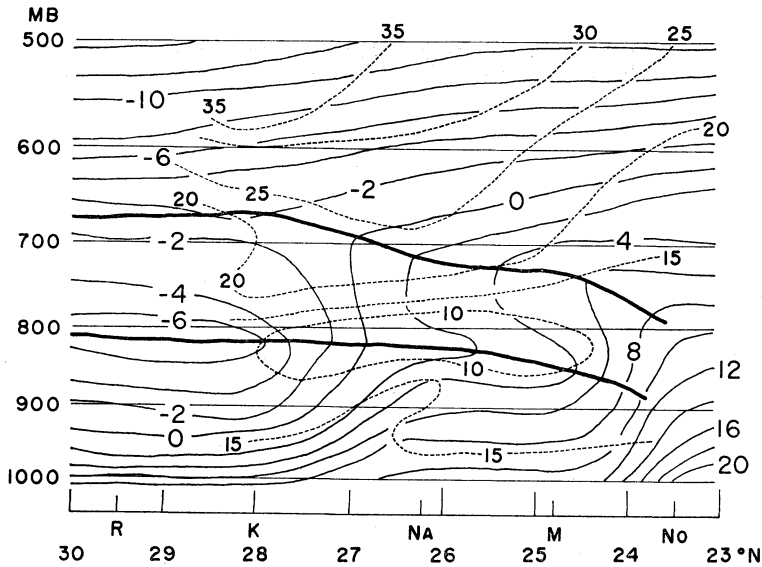
第1図 冬期逆転層の典型例(1975年2月の宮古島) 縦軸は高さ、横軸は比、 $\theta_e(Z)/\theta_e(IB)$ 、 IB は30mの分解能で観測された温位と比湿から決めた逆転層下面高度。

* Statistics on inversion layer in the cold outbreak over the East China sea.

** Nobuhiro Honda, Toshio Fujita, 気象研究所.

—1985年5月27日 受領—

—1986年1月27日 受理—



第2図 1974年2月25日 0900 JSTの126°Eに沿う高度緯度断面図。太実線は逆転面、細実線は気温、点線は風速の絶対値を示す。横軸上の記号はそれぞれ観測点で、Rは凌風丸、Kは啓風丸、NAは那覇、Mは宮古島、NOはのじまを示す。

において低層湿度計ゾンデを用いて大気境界層の観測を行ったが、たまたま2月20日～22日に強い寒気の吹き出しがあった。この期間の明瞭な逆転層については、藤田(1978)が解析している。

そこでは、この期間に明瞭な逆転層が存在した19例について平均された各気象要素の鉛直プロファイルが示されている。気温は地上(5m)から1300mまでは気温減率が乾燥断熱状態になっていて、よく混合された層である。1300m～1700mの層では湿潤断熱に近く、雲層となっていた。そして1740m付近で気温が逆転している。また、これらの層での気温の局所変化であるが、混合層では、ほぼ定常状態、雲層と逆転層は平均して3時間に2°～3°Cも変化している。

これは逆転層自身が3時間という短い時間にかかなり上下に変動していることを示している。各層における熱的安定度をみると、相当温位が逆転層の約150m下まではほぼ一様であり、上部雲層で顕著な対流不安定となっている。逆転層から上は極めて安定な成層である(第1図)。このような顕著な逆転層の空間的拡がりを見るために気温と風速の緯度-高度断面図(第2図)をみると、1974年2月25日00Zに北緯28度から30度にわたって815mbから680mbの層に顕著な逆転が存在してい

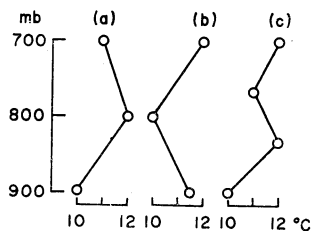
た。南北の温度傾度は900mb面が最大で3.3°C/100kmという大きな値になっており、28°Nと26°Nの黒潮上に傾度が集中している。

28°Nから南に逆転層上面はゆるやかに下降して24°Nではほぼ800mb、下面が880mbに達していた。逆転層の下では宮古島での観測と同じく温度減率は乾燥断熱で風速もほぼ一様であった。雲層の下部では風速は強まって逆転層の下面で風速は最小値を示している。これから上で大きな風の鉛直シャーがみられる。

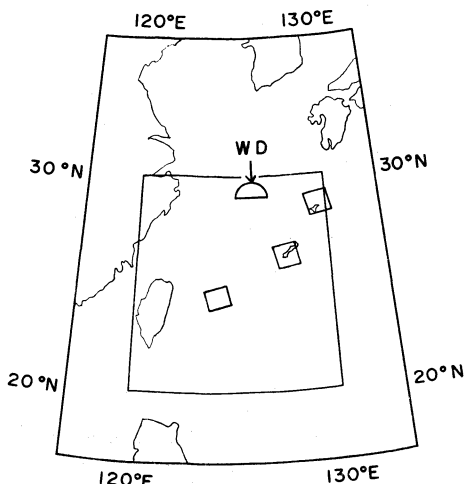
3. 資料と解析方法

今回の解析で用いた資料は次のとおりである。1970年から1978年迄の9年間(那覇6年間)の10月から翌年4月迄の、名瀬、那覇と石垣島の高層観測資料(00Zと12Z)を使用し、地上風向が北寄り(270°～90°)で、700mbから900mbの間に逆転のあった場合を解析の対象とした。

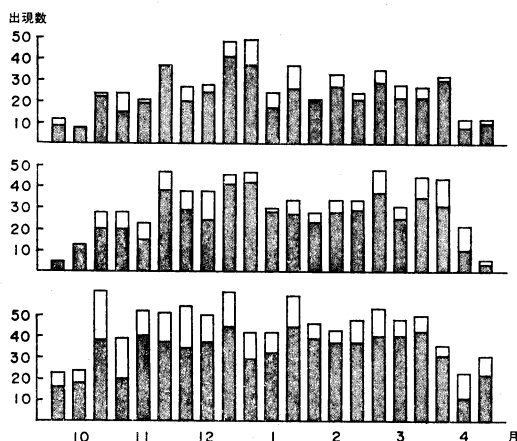
地上風速、気温、旬平均沿岸水温を用いて、海面からの顕熱フラックスに比例する量(今後簡単のため顕熱フラックスと呼ぶ)を求めた。さらに上昇、下降流は気象庁数値予報課の6層ファインメッシュ・モデルの初期解析値を用いた。700mbから900mbの間の逆転には、



第3図 逆転層の模式図。(a) 下層逆転, (b) 上層逆転, (c) 上, 下層逆転. 縦軸は気圧, 横軸は気温.



第4図 使用した領域, 半円形は採用した風向(WD)範囲, 小さい四角形は鉛直流のメッシュ範囲を示す.



第5図 逆転層の旬別出現数. 陰影部分は地上風向が $320^{\circ}\sim 40^{\circ}$ の場合. 上段是那覇, 中段は石垣島, 下段は名瀬を示す. 縦軸は出現数, 横軸は月.

いろいろなタイプがある. 第3図は900 mb から700 mb の気層中の逆転層のいくつかの型である, 逆転が下層(900 mb~800 mb) だけに存在する場合(a), 上層(800 mb~700 mb) だけに存在する場合(b)そして両者にわたっている場合がある(c). そして逆転層が1つだけの場合, 2つ以上複数個存在する場合などいろいろなタイプがある. ここでは第3図に示したように状態曲線上で900 mb~700 mb の間にとにかく逆転層が存在した場合を採り上げ, 大きく上層と下層に分類した.

次に第4図のように, 20°N から 30°N , 120°E から 130°E の領域で, 地上風向が北寄り ($270^{\circ}\sim 90^{\circ}$) であること, そして, この領域内に低気圧, 前線などのじょう乱がなかった日を選んだ.

第5図は地上風向が北成分をもつ場合の逆転層の旬別出現数を3地点別に示したもので, 陰影部分は地上風向

が $320^{\circ}\sim 40^{\circ}$ の場合である.

図をみても分かるように, 陰影部分は地点別に平均すると, 名瀬73%, 那覇82%, 石垣島77%となり, 全体の73~82%は地上風向が $320^{\circ}\sim 40^{\circ}$ の場合であるので, これからの検討は $270^{\circ}\sim 90^{\circ}$ の風向で集計したものについて統計する.

9年間に選ばれた逆転層は名瀬936例, 那覇563例, 石垣島669例あった. これらの資料を旬毎に出現高度, 回数, 強さについて集計して平年の季節変化の状態を検討した. 海面からの顕熱フラックスは次式で表される.

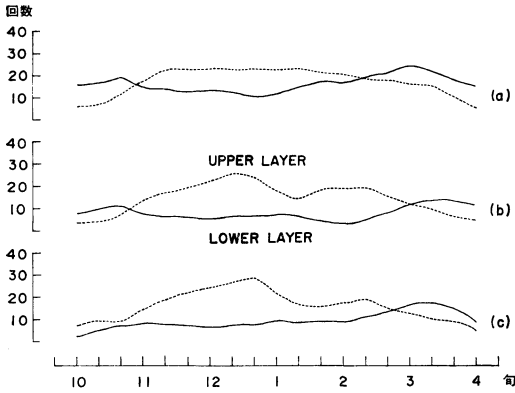
$$Q = C_d |V| \cdot (T_s - T_a)$$

上の式で $|V|$ はスカラー風速, T_s, T_a はそれぞれの旬平均の海面水温と気温である. C_d はバルク係数で一定とみてもよいから, ここでは Q として $|V| \cdot (T_s - T_a)$ で表現した. 従って, 顕熱フラックスとはいっても顕熱に比例する量に相当する.

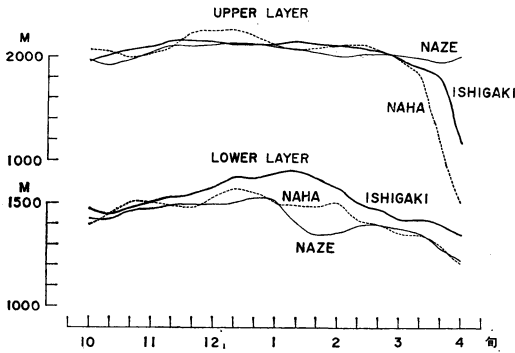
4. 結果

4.1 逆転の出現回数

第6図は逆転の出現回数の季節変化を示す. 縦軸は1日2回, 10日毎の9年間の合計出現回数, 横軸は旬を示す. 名瀬, 那覇と石垣島についておのおの3旬移動平均したものを示している. 上層の逆転層を点線で表している, 名瀬では10月から徐々に出現回数が増えて11月下旬から1月下旬まではほぼ一定値を示し, 春にむけ減少していくのが分かる. 那覇, 石垣島では秋から徐々に増



第6図 出現回数の季節変化。(a) 名瀬, (b) 那覇, (c) 石垣島。点線：上層 (800 mb 以上), 実線：下層 (800 mb 以下), 縦軸：回数, 横軸：旬。

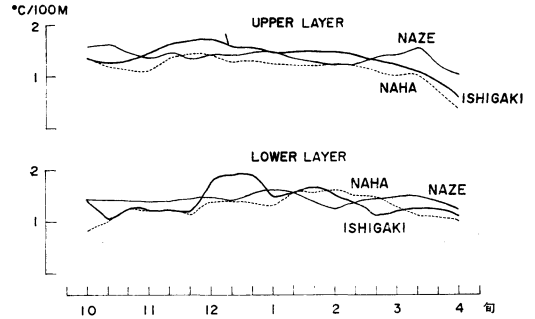


第8図 逆転層の下面高度。それ以外は第7図と同じ。

え12月下旬～1月上旬に極大に達する。東支那海の比較的南部に位置する那覇、石垣島では2月頃に第2の極大が現れている。そしてこの両者では旬毎の回数の変化傾向も類似している。下層に現れる逆転層(実線)は冬季東支那海で発達する対流混合層の上端に形成されるもので、図をみても分かる通り、各地点とも、10月から翌年4月の冬期間、ほとんど季節変化は認められない。従って、前者には極前線に伴う逆転層が一定の割合で含まれているかも知れないが、ここでは、その判別までは行わなかった。

4.2 逆転の強さ

第7図は、逆転層の上面と下面間の100 m 当たりの昇温率、いわば逆転の強さを示すもので、これを3旬移動平均したものである。点線は那覇、太実線が石垣島、細



第7図 逆転の強さ。名瀬は細い実線、那覇は点線、石垣島は太実線、横軸は旬。

い実線は名瀬を示す、上層と下層に分けて示した。

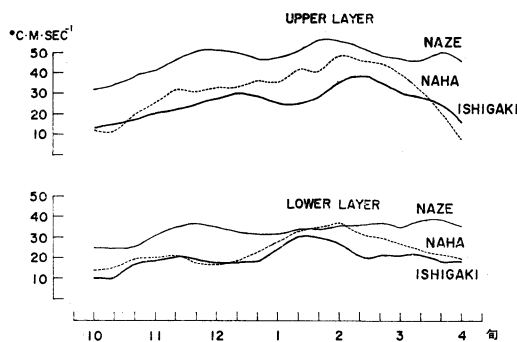
上層をみると、那覇と石垣島ではほぼ平行した季節変化をしていることが分かる。

名瀬では10月に強く11月から1月まではおおよそ1.4 °C/100 m であるが、2月は若干小さく、3月に再び元の強さを示している。また上層と下層を比べてみると、名瀬では両者の強さおよび変化傾向は似ている。石垣島では下層の方が変化の振幅が大きく、ピークの時期に多少のずれは認められるが、変化傾向は似ている。那覇の上層は12月に極大が現れ冬から春にむけて徐々に弱くなるが、下層は逆に秋から冬に強く春に弱くなる傾向がみられる。

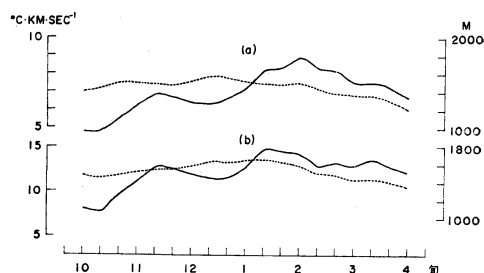
4.3 逆転層の下面高度

第8図に逆転層下面高度の旬平均値を3旬移動平均し、地点別に示した。多少の変化はあるが、大きく見れば、明瞭な季節変化を表している。名瀬の下層では11月上旬から1月中旬にかけて最も高く(約1500 m)、それから2月上旬に向けて急に下がり、それ以後徐々に減少している。那覇では11月上旬から1500 m ± 100 m の高度がおおよそ、2月中旬まで持続し、その後春にむけて下降している。ところで石垣島では、10月から徐々に上がり1月中旬が最高で、1650 m に達し那覇より2旬おくれて下降しはじめる。那覇、石垣島の上層では4月を除き、10月～3月迄2000 m ~ 2200 m の間ではほぼ常定的である。

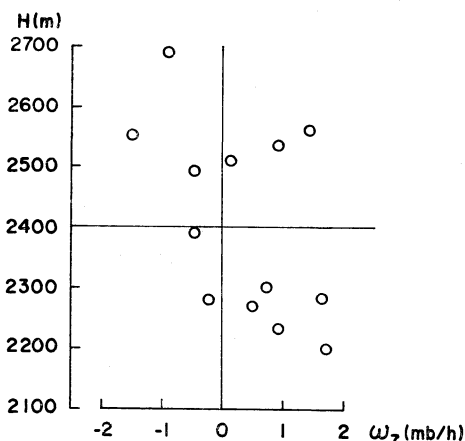
逆転層の下面高度はそれより下層に発達した対流混合層の厚さを表している。この対流混合層は寒気の吹き出しに伴って発達するものと考えられる。従って対象領域の比較的北辺に近い名瀬では12月上旬に寒気吹き出しによって対流混合層は最も発達するが那覇以南には充分寒気が侵入していないので混合層も未発達である、一方12



第9図 顕熱放出量. それ以外は第7図と同じ.



第10図 逆転層の下面高度と顕熱量. 顕熱補給の積算量 実線, 逆転層下面の高度, (a)那覇, (b)石垣島 点線, 左側縦軸が積算量, 右側縦軸に高度, 横軸は旬.



第11図 名瀬の700 mb面の鉛直流と逆転層上面高度の散布図, 相関係数は -0.512 .

月下旬には寒気はより南下して那覇や石垣島で対流混合層を最も発達させるものと考えてよいであろう。

4.4 顕熱放出量

第9図は、名瀬、那覇と石垣島の3地点における顕熱放出量を上層に逆転層が存在する場合と、下層に存在する場合に分けて3旬移動平均して示してある。顕熱放出量は名瀬、那覇と石垣島の順に南に行く程弱くなっている。顕熱放出量を比較してみると、石垣島では1月中旬～2月中旬を除いて、名瀬の約1/2の値である。これは、北の名瀬では、新鮮な寒気団が黒潮の暖水域から大量の顕熱を奪っていることを示し、南の石垣島では、寒気団が変質して、水温・気温差が小さくなり、等圧線の間隔も開いて風速も弱くなるために顕熱放出量が名瀬の半分になるものと考えられる。さて、南下する寒気が海面から顕熱の補給を受けて対流混合が盛んになると考えられるので、那覇・石垣島の逆転層の下面高度と寒気が

それらの地点に到達する間に受けとった顕熱量との関係を調べてみた。第10図に実線で顕熱補給の積算量、点線で逆転層下面の高度を那覇と石垣島について示してある。ここで顕熱補給の積算量は名瀬とそれぞれの地点の間の補給量の平均値に吹走距離を乗じた量で代用した。顕熱補給の積算量については両地点で1月中旬から2月中旬にかけての極大域で若干の位相のずれが認められるほかは両者はほぼ同じ変化傾向を示した。一方逆転層下面高度は顕熱補給量にくらべてよりゆるやかに変化しているが、10月から12月を除くと大勢は両者は比例して変化しており、逆転層下面の高度変化が下面からの顕熱の補給に一部支配されていることをある程度裏付けているといえよう。

4.5 鉛直流と逆転層上面の高さ

第11図は名瀬の700 mb面の鉛直流と、上層の逆転層上面高度の関係を示している。資料の関係で1977年から1978年のひとと冬分のデータしか得られなかったので、多少ばらつきはあるが、逆転層上面高度は下降流のときに比較的低く、上昇流のとき高くなる傾向を示している。両者の相関係数は名瀬では -0.512 で危険率5%で無相関の仮説は棄却されて、統計的には有意な関係を示している。一方、那覇と石垣島の場合はこの期間中ほとんど上昇流であった関係から、相関は那覇で -0.12 、石垣島では -0.08 と低く、両者の間に有意な関係は認められなかった。

5. まとめ

冬期、寒気団が東支那海上に氾濫する場合に、海面から顕熱、潜熱の補給を受けて、対流混合層が発達する。その上面には顕著な逆転層が形成される。ここでは9年間の高層観測資料などを用いて、この逆転層に関する統

計結果を示した。

1. 逆転層の出現回数は上層(800 mb~700 mb)では、はっきりした季節変化を示し、12月下旬から1月上旬に極大に達した。東支那海南部では、2月頃に第2の極大が現れる。一方下層(800 mb~900 mb)の逆転層の出現回数は10月から翌年4月まで、ほとんど季節変化は認められなかった。

2. 逆転層の強さは10月から3月までは、上層でおおよそ $1.0^{\circ}\text{C}\sim 1.8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 、下層でも $1.0^{\circ}\text{C}\sim 2.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ではほぼ同じであるが、下層の方が変化の振幅が大きい。

3. 対流混合層の高さを示す逆転層の下面高度は、対象領域の比較的北部では12月上旬に最も高いが、南部では充分寒気が侵入しないため混合層は未発達である。そして12月下旬になってはじめて比較的南部にある那覇、石垣島で下面高度が最高に達する。

4. 顕熱補給量と対流混合層の高さの関係は10月から12月の間を除くと、那覇、石垣島とも両者はほぼ比例して変化しており、対流混合層の高さを決める要因の1つは海面からの顕熱の補給であることを裏付けた。

5. 一方上層逆転層上面の高さは、高気圧の張り出しに伴う、下降流によって支配されていると考えられる

が、資料不足ではあるが、名瀬では両者の間には-0.512の統計的に有意な逆相関が認められた。すなわち、高気圧性沈降気流によって逆転層上面は押し下げられていることが認められた。しかし那覇、石垣島では、解析期間中ほとんど上昇流であったため、両者の間の相関は認められなかった。今後多くの資料について検討する必要がある。なお、極前線面の場合はこのように強い逆転は少なく、高度もより高いと考えられるが、上層の逆転層の統計の中にこれが若干含まれていることも考えられる。この点についても、今後検討を要する問題である。

謝 辞

親切な討論および貴重な御意見を寄せられた気象研究所、予報研究部の同僚に厚く感謝します。

文 献

- 斉藤直輔, 1978: AMTEX 領域の総観現象とその解析, 気象庁技術報告第93号, 9-40頁。
 Fujita, T. and Honda, N, 1975: The Structure of lower atmosphere in AMTEX area, Report of the fourth AMTEX study conference, 113-116.
 藤田敏夫, 1978: 総観場における大気境界層, 気象庁技術報告 第93号, 52-56.

日本気象学会および関連学会行事予定

行 事 名	開 催 年 月 日	主 催 団 体 等	場 所
昭和61年度日本気象学会 春季大会	昭和61年5月21日~23日	日本気象学会	気象庁
月例会「第30回山の気象 シンポジウム」	昭和61年6月21日		気象庁
第23回理工学における同 位体元素研究発表会	昭和61年7月1日~3日	共同主催	国立教育会館
短期・中期数値予報の国 際シンポジウム	昭和61年8月4日~8日	WMO(気象庁)・IUGG	東京, 気象庁
第4回エアロゾル科学・ 技術研究討論会	昭和61年8月21日~22日	エアロゾル研究協議会	愛知県産業貿易館 (名古屋市)
第3回アジア流体力学会議	昭和61年9月1日~5日	アジア流体力学会議委員会	日本都市センター
Beijing International Radiation Symposium	1986年9月2日~6日	Chinese Meteorological Society & American Meteorological Society	Beijing
昭和61年度日本気象学会 秋季大会	昭和61年11月5日~7日	日本気象学会	愛知厚生年金会館 (名古屋市)
International Union of Geodesy and Geophysics, XIX General Assembly	1987年8月9日~22日		カナダ, バンクーバー