

TECHNICAL REPORTS OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE NO.18

STUDIES OF THE MIDDLE ATMOSPHERE

BY

UPPER ATMOSPHERE PHYSICS RESEARCH DIVISION,
METEOROLOGICAL SATELLITE RESEARCH DIVISION,
FORECAST RESEARCH DIVISION, MRI.
THE MAGNETIC OBSERVATORY

気象研究所技術報告

第18号

中層大気の研究

高層物理研究部・気象衛星研究部

予報研究部・地磁気観測所

気象研究所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

MARCH 1986

Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director : Dr. Kazuko Yanagihara

Forecast Research Division	Head : Dr. Masahiko Aihara
Typhoon Research Division	Head : Mr. Keizo Masamura
Physical Meteorology Research Division	Head : Mr. Hachiro Uemura
Applied Meteorology Research Division	Head : Mr. Tsunehiro Majima
Meteorological Satellite Research Division	Head : Dr. Keikichi Naito
Seismology and Volcanology Research Division	Head : Dr. Masaji Ichikawa
Oceanographical Research Division	Head : Dr. Hayato Iida
Upper Atmosphere Physics Research Division	Head : Dr. Hisafumi Muramatsu
Geochemical Research Division	Head : Dr. Osamu Asaoka

1 - 1 Nagamine, Yatabe-Machi, Tsukuba-Gun, Ibaraki-Ken 305, Japan

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Tsunehiro Majima

Editors : Koji Yamazaki Haruo Ohnishi Tomoyuki Ito
 Tomoaki Yoshikawa Tsutomu Takashima Masami Okada
 Masahiro Endoh Yukio Makino Katsumi Hirose

Managing Editor : Keiko Nishida, Yusai Yuhara

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of survey articles, technical reports, data reports and review articles on meteorology, oceanography, seismology and related geosciences, contributed by the members of the MRI.

序

中層大気国際協同観測計画 (MAP) は超高層物理学および気象学の観点から中層大気 (対流圏境界面から熱圏下部に至る高度約10~120kmの領域) に関する国際的な総合協同観測を実施しそのデータにもとづいて中層大気の構造・力学および物性について地球全域の様相を明らかにしようとするものである。

この計画は太陽地球系物理学科学委員会 (SCOSTEP) により提案され1978年秋国際学術連合会議 (ICSU) 総会で1982-1985年の4カ年計画として決定されICSUメンバー国に通達されMAPへの参加が勧告された。

これに対応して日本学術会議は1978年秋の総会で日本のMAP参加を日本政府に勧告した。また測地学審議会では実施について審議した結果昭和55年5月30日「中層大気国際協同観測計画 (MAP) の実施について」という建議を提出した。

この建議のなかでMAP計画の意義は次のように述べられている。即ち「地球を包む自然環境のうち、天気現象を支配する対流圏は、バルーン等の気象観測により、又、超高層現象が惹起する電離圏は地上からの電波観測や、人工衛星、ロケットの直接観測により、それぞれ詳しく調査され多くの地球物理学的知識や理解が得られてきた。これに反し、その中間に位置する中層大気圏については、これまで有力な観測手段がないまま、バルーン、気象ロケット等による極めて限られた観測が行われてきたに過ぎず、中層大気中に生起している複雑な諸現象を総合的に理解する途は大きく阻まれてきたままであった。

しかし、近年、地球環境全体を通じて流れる種々のエネルギー伝達と物質の輸送の実体を把握することの必要性がますます高まり、又、気候変動等の人間生存環境解明の上でも中層大気のもつ役割の重要性が強く叫ばれる様になった。

加えて、近年、観測技術が急速に進展し、特に新しい手法としてめざましい発展を遂げたりリモートセンシング技術は、超高層を飛翔する人工衛星による中層大気の温度と微量成分密度の測定を可能とし、また、地上からの大型レーダーによる中層大気運動の高精度連続観測技術等も確立してきている。

MAPはこれら最新の技術を重要な柱とし、従来の飛翔体による直接観測と各種の地上観測をも総合して、中層大気圏を国際協力により解明しようとするものである。」

我国のMAPの研究課題として次の5課題が設定された。

課題Ⅰ 中層大気の風系と波動

課題Ⅱ 中層大気の組成

課題Ⅲ エアロゾルと放射

課題Ⅳ 南極中層大気の総合観測

課題Ⅴ データ解析・モデリング

気象研究所では課題Ⅱ、Ⅲ、Ⅴに関して研究を分担し、特別研究「中層大気の研究」を昭和56年度一昭和60年度に実施した。実施にあたっては三崎方郎（高層物理研究部）らによって準備され、嘉納宗靖らを中心に開始された。

研究の分担は次の通りである。

1. 中層大気の組成；高層物理研究部
2. エーロゾルと放射
 - (イ) エーロゾルのモニタリング；気象衛星研究部
 - (ロ) 放射特性の観測；高層物理研究部
3. データ解析・モデリング；予報研究部・地磁気観測所・高層物理研究部

研究の成果は、MAPシンポジウム、日本気象学会、国際会議（International MAP Symposium等）で発表、討議されまた既に印刷発表されたものもある。

本報告は、特別研究で得られた成果のうち資料を中心にまとめたものである。

MAP計画での中心的課題は

- (1) 人間の活動の結果により、例えばオゾン密度の低下など、成層圏の自然がそなわれる可能性があるか。
- (2) 天気や気候変動に対して中層大気はどのような役割を演ずるのか。

であった。これらの重要な課題に対する解答は、MAP期間の研究では与えられるものではなく、この研究で得られた資料の解析や、現在計画されている気候変動国際協同研究計画（WCRP）での研究に期待される。

昭和61年2月

気象研究所 高層物理研究部長
村 松 久 史

目 次

序

概要 (和文)	1
Abstract (英文)	5

第1章 ガスクロマトグラフ法による対流圏および成層圏微量化学成分の分布の測定

11

1.1 はじめに	11
1.2 測定法	12
1.2.1 空気の採集	12
1.2.1.1 航空機による空気の採集	12
1.2.1.2 気球による空気の採集	13
1.2.2 ガスクロマトグラフ測定	15
1.2.2.1 CH ₄ の測定	16
1.3 結果	16
1.3.1 対流圏における CF ₂ Cl ₂ 、CFCl ₃ および N ₂ O	16
1.3.2 成層圏における CF ₂ Cl ₂ 、CFCl ₃ 、N ₂ Oおよび CH ₄	23
1.4 まとめ	27

第2章 オゾンゾンデ観測

29

2.1 はじめに	29
2.2 ゾンデの試験	29
2.2.1 気圧計	29
2.2.2 ポンプ	32
2.2.3 反応管	35
2.2.4 信号切換及び資料整理	37
2.3 飛揚実験及び結果	37
2.4 解析	49
2.5 まとめ	52

第3章 航空機搭載赤外分光装置による微量成分測定

55

3.1 はじめに	55
----------------	----

3.2	分光装置	55
3.3	観測	57
3.4	解析・結果	61
3.4.1	N ₂ O	61
3.4.2	CH ₄	65
3.4.3	CF ₂ Cl ₂	68
3.4.4	CFCl ₃	69
3.5	まとめ	70
第4章	成層圏におけるイオン生成率の測定	73
4.1	はじめに	73
4.2	電離函の諸元と観測方法	73
4.3	電離電流の算出	76
4.4	飛揚観測結果	76
4.5	検討	79
4.6	おわりに	79
第5章	ライダー観測	81
5.1	まえがき	81
5.2	使用したライダーの特性	81
5.3	観測資料の処理	81
5.4	資料について	82
第6章	日射ゾンデ	115
6.1	日射ゾンデの構造および器械定数の決定	115
6.2	日射ゾンデの揺れの補正	116
6.3	観測結果	124
第7章	放射ゾンデ	127
7.1	放射ゾンデの構造	127
7.2	器械定数およびその風速依存性の決定	128
7.3	観測結果	131
7.4	中層大気における赤外放射の分布の解析例	131

第8章	航空機による放射観測	145
8.1	はじめに	145
8.2	測定要素及び測器	145
8.3	観測要領	145
8.4	測定誤差	147
8.5	観測概況	152
8.6	測定結果	153
8.7	まとめ	163
第9章	データ解析	165
9.1	中層大気擾乱と地磁気変動	165
9.1.1	はじめに	165
9.1.2	Sq電流系の日々変動と中層大気擾乱	165
9.1.3	sfeに伴う変動と中層大気擾乱	169
9.1.4	Sqの振幅の準2年周期振動	170
9.1.5	地磁気経年変化と地表気温の相関	173
9.1.6	まとめ	175
9.2	地磁気擾乱の地球大気の循環におよぼす影響について	176
9.2.1	はじめに	176
9.2.2	データ・解析法	177
9.2.3	気圧高度変化	177
9.2.4	予報誤差	181
9.2.5	議論およびまとめ	183
第10章	モデリング	185
10.1	序—中層大気のモデリング	185
10.2	経度平均モデル	185
10.3	内部重力波の数値実験	189
10.4	中層大気大循環の数値実験	192
10.5	モデリングのまとめ	199

参考資料

I 高緯度地方におけるオゾンの季節変化	203
II 赤外分光法による N ₂ O 全量の定量	210
III 大気微量成分濃度の広域分布	228
研究成果の発表リスト	239

概 要

近年成層圏汚染等による中層大気環境変化により、気候変動が誘発されることが憂慮されているが、中層大気(高度10 km—120 km)に関しては、未知な点が多くこれより上方の領域や下層の対流圏に比して研究が著しく遅れている。気象研究所・地磁気観測所はこの中層大気に関する国際的な総合協同観測計画に参加しその一部を分担した。

その1は「中層大気の組成」である。

この項目では成層圏オゾン及びその変動に関連する微量気体成分の観測を実施した。成層圏オゾンと直接反応してこれを破壊する成分は NO_x 、 HO_x 、 ClO_x 、等であるが、これ等の源となる物質は N_2O 、 H_2O 、クロロフルオロメタン(特に CF_2Cl_2 と CFCl_3)等である。近年、人間の活動の結果、クロロフルオロメタンと N_2O が増大し、オゾン層の破壊をひき起すことが懸念されている。我々の観測は、クロロフルオロメタンと N_2O の分布、変動に関する資料及び、オゾンの変動の資料を得ることを主たる目的とした。 CF_2Cl_2 、 CFCl_3 、 N_2O 、 CH_4 の対流圏から成層圏にわたる濃度は、化学的方法と光学的方法により測定した。化学的方法は空気試料を採取し、それをガスクロマトグラフにより分析した。対流圏内は航空機を、成層圏内は気球を利用して空気の採取を行った。

光学的方法は太陽を光源とした赤外吸収スペクトルを利用するもので、光路中の吸収物質の積分量や、高度分布を求めた。測定は、地上及び航空機から行った。

オゾンは、高度40kmまでの分布を、オゾンゾンデにより観測した。

また N_2O から生成される NO_x と宇宙線による電離から生成される NO_x の寄与を明らかにするため、電離函によりイオン生成率の高度分布の測定を行った。

これ等の結果は第1章から第4章に述べられている。

観測、解析から明らかになったことは、

- (1) CF_2Cl_2 及び CFCl_3 の日本付近の対流圏内の平均的体積混合比はここ数年4—6%/年で増加している。 N_2O の混合比はほとんど一定である。
- (2) CF_2Cl_2 、 CFCl_3 、 N_2O の日本付近の対流圏の平均的体積混合比は、1984年12月—1985年1月の時点で、361 ppt、218 ppt、303 ppbであった。
- (3) 成層圏内の CF_2Cl_2 、 CFCl_3 及び N_2O の混合比を筑波で観測した。これ等の成分の濃度の高度にともなう減少は光化学—拡散モデルとよく一致していた。成層圏内の CF_2Cl_2 と CFCl_3 の経年変化は確定できなかった。
- (4) 高度約40km(～3 mb)までのオゾン、気温、風の観測を1983年2月から1985年12月までの期間、冬季に筑波で行った。4 mb高度でのオゾン濃度は気温と負の相関が、また風速の東向き成分とは正の相関があった。また1983年の2、3月の10 mb高度以上のオゾン濃度は、それ以後の値に

比べて小さかった。これは1982年春のEl Chichon火山の噴火の影響かどうか注目される。

- (5) 大気中のイオン対生成率はポツァー極大の高度(17-18km)で最大で、三陸付近では約22イオン対 $\text{cm}^{-3}\text{sec}^{-1}$ である。また、イオン対生成率は太陽活動と関連しており、太陽黒点数が減少するとイオン対生成が増加することが観測された。

その2は「エーロゾルと放射」である。この項目は「ライダーによるエーロゾルのモニタリング」と「放射特性の観測」の2つの小項目から成る。前者はライダーによる成層圏エーロゾルの観測であり、後者は日射、赤外放射の水平面フラックス、気温、湿度等の観測を実施し、エーロゾルの放射収支に及ぼす効果を明らかにすることを目的とした。結果は第5-第8章に述べられている。

ルビーライダー(694.3 nm)により、筑波において、El Chichon火山の噴火(1982年3月-4月)起源の成層圏エーロゾルの観測を行い、後方散乱係数、散乱比及びそれ等の標準偏差、高度16.5-30.5 kmの後方散乱係数の積分値 B を得た。観測・解析から次の特徴が明らかになった。

- (1) 1982年5月と11月に B の極大が現われた。
- (2) B の値は1982年12月-1983年9月の期間に時定数約7ヶ月で減少した。
- (3) 成層圏エーロゾルの季節変動はまだ明らかでない。

対流圏から約10mbまでの成層圏の日射及び赤外放射フラックスを航空機、日射ゾンデ、放射ゾンデを用いて筑波-鹿島灘の領域で冬季に観測を行い、放射収支に及ぼすエーロゾルの効果を解明するための基礎資料を蓄積した。

この資料を用いて解析を行い次の結果を得た。

- (1) 対流圏のエーロゾルは日射を吸収し大気を加熱する。その大気加熱の効果は水蒸気による効果の2-3倍大きい。
- (2) 対流圏のエーロゾルの赤外放射による大気の冷却率に対する効果は、エーロゾルの濃い層内では、冷却率を小さくし、その上方では冷却率を大きくする。
- (3) 成層圏内で日射の吸収による大気の加熱率は、1984年1月、1984-1985年の冬季の、南中時近くでは、20-100 mbの層の平均値として $2.06 \pm 0.70 \text{ }^\circ\text{C}/\text{day}$ である。
- (4) 成層圏内の赤外放射による大気の冷却率は、冬季において、10-100 mbの高度では、清澄大気に対する理論的計算では、 $1.35 \text{ }^\circ\text{C}/\text{day}$ であるが、放射ゾンデの観測では、負(すなわち加熱)であった。

その3は「データ解析・モデリング」である。

この項目では太陽活動、地磁気変動と気象要素との関連を世界各地の長期にわたる資料を用いて解明し、また中層大気の数値モデルを開発し、中層大気大循環の形成や下層大気との相互作用等に

関する数値実験を行うことを目的とした。この結果は第 9、10 章に述べられている。

データ解析では、上層と下層との大気間のカップリングを明らかにすることを目標とし、特に地磁気静穏日日変化と風・エネルギーの鉛直輸送との関連、太陽活動・地磁気擾乱と下層大気の循環等の関連に主眼をおいた。

データ解析から次のことが明らかになった。

- (1) 地磁気静穏日日変化 Sq の中心緯度は周期数日一数 10 日の日々変動をする。この変動は冬季においては、対流圏起源のプラネタリー波動と関連していることが示唆される。
- (2) Sq の振動に準 2 年周期振動が存在する。また Sq とオゾン全量、E 層臨界周波数 f_oE の間に正の相関が存在する。
- (3) 太陽フレアに伴い、地磁気及び VLF (ミリアメートル波) に周期約 70 秒の振動がみられる。これの原因として太陽フレアに伴い発射される X 線の強さの振動が考えられる。
- (4) 地磁気擾乱後に、地上 100 mb の高度で大循環のパターン、気圧配置に変化が生じる。この変化は冬季の定在波及びこれに対応する気圧配置に近い。地上気圧の変化の大きさは、地磁気擾乱の 2 日後以内にアラスカ湾—カナダ北部、グリーンランド—アイスランド付近で約 5 mb の低下である。
- (5) 地磁気擾乱の 1 日後に、数値予報モデルから計算される気圧高度の予報誤差が増大する。特に北太平洋、カナダ北部で大きい。これ等の解析の結果は、中層大気の擾乱が対流圏の循環に関連することを示すものである。

モデリングにおいては、中層大気中での内部重力波の伝播、役割の解明を行った。即ち 3 次元プリミティブ方程式により、数 100 km 以上の東西波長をもつ内部重力波を陽に表現する (従来はパラメタリゼーションで表現していた) モデルを開発した。このモデルによる数値実験の結果次のことが明らかになった。

- (1) 下層で励起される小スケールの内部重力波は上方に伝播し、メソポーズ付近でこわれ、それによって上部中間圏及び下部熱圏における熱的に作られている平均東西風及び温度場を大きく変える。
- (2) このモデルにより中層大気中の大循環の重要な特徴、例えば、平均東西風の逆転 (下部熱圏においては、中間圏の東西風と逆向きの東西風がある)、気温の南北傾度の逆転 (メソポーズ付近では冬極が高温、夏極が低温であること) 等が再現できた。
- (3) 対流圏を含む 3 次元全球モデルによる数値実験に際して、内部重力波とプラネタリースケール運動の 3 次元相互作用をシミュレートできる見通しがついた。

Abstract

The internationally coordinated MAP (Middle Atmosphere Program) is an attempt to obtain the scientific knowledge which is required for answering the important questions :

- (1) What are the possibilities of damage to the earth's middle atmosphere as a result of mankind's activities such as the permanent reduction of the ozone concentration in the stratosphere?
- (2) What role does the middle atmosphere play in determining climate and climatic changes?

The MAP in Japan consists of five projects : (1) Winds and waves (2) Constituents (3) Aerosols and radiation (4) Coordinated observations in Antarctica (5) Data analysis and modelling.

The Meteorological Research Institute participated in the projects (2), (3) and (5).

(a) Constituents

Ozone and ozone-related constituents such as CF_2Cl_2 , CFC1_3 , N_2O , CH_4 , were observed to understand the structure and behavior of the ozone layer. Various techniques, such as the electrochemical ozonesonde, chemical analysis of sampled air, and absorption spectroscopy, were used. The results are described in Chapter 1 through Chapter 5.

In Chap. 1 the measurement of CF_2Cl_2 , CFC1_3 , and N_2O by GC-ECD is described. Air samples have been collected over Japan and analyzed for CF_2Cl_2 , CFC1_3 and N_2O by a GC-ECD method since 1978. Mean tropospheric volume mixing ratios of CF_2Cl_2 and CFC1_3 have increased by 4 - 6 % yr^{-1} in the last few years. That of N_2O was almost constant in the same period. They were 361 ppt for CF_2Cl_2 , 218 ppt for CFC1_3 and 303 ppb for N_2O between December 1984 and January 1985. The mixing ratios of CF_2Cl_2 , CFC1_3 and N_2O in the stratosphere decreased with increasing altitude in accordance with our 1-D photochemical-diffusive model. No tendency of CF_2Cl_2 and CFC1_3 to increase in the stratosphere could be detected.

In Chap. 2 the observation of ozone by the ozonesonde is described. The vertical profiles of atmospheric ozone, temperature and wind up to about 3 mb level were obtained by the electrochemical ozonesondes with 5 kg balloon.

An aneroid barometer (RS 2 - 80) was used to measure ambient pressure. The measurement error at 3 mb was estimated to be about 0.23 mb, corresponding to about 550m in altitude. The pump system is the same type as used in the KC-79 ozonesonde, with some improvement to assure that the bubbling of the air stops below 2 mb.

Ozonesondes were launched in the winter season during February 1983 through December 1985. At 4 mb level (about 37.5 km) ozone concentration decreased with temperature and increased with westerly wind speed. The ozone above 10 mb level showed low concentration in the winter of 1982 - 1983, which suggests some relation with the eruption of E1 Chichon.

In Chap. 3 the measurement of minor constituents by absorption spectroscopy is described. The sunset infrared solar spectra were obtained by aircraft and total column abundances and mixing ratios of N_2O , CH_4 , $CFC1_3$ and CF_2Cl_2 in the winter season were estimated.

The volume mixing ratios of N_2O in the troposphere in 1984 were 0.292 ppm (12 Dec) and 0.310 ppm (13 Dec), which were very close to the value 0.303 ppm obtained in the same winter by gas-chromatographic method, while the mixing ratio in lower stratosphere-upper troposphere obtained in February 1984 was about 0.425 ppm. CH_4 in the upper troposphere showed a very high mixing ratio (above 2.2 ppm) compared with 1.74 ppm in the lower troposphere obtained by gas-chromatographic method. Those of CF_2Cl_2 and $CFC1_3$ were 301 and 196 ppt, respectively at the level of the tropopause, and 365 and 200 ppt, respectively in the upper troposphere.

In Chap. 4 the ion-pair production rate in the stratosphere is described. The ion-pair production rates in the stratosphere were observed by using three Al-ionization chambers with different wall thicknesses (i.e. 0.4, 0.8 and 3.0 mm) and the same volume, loaded in the large balloon launched from the Sanriku Balloon Observatory, ISAS, on May 25, 1984.

(1) Pfozter Maximum was observed at 17 - 18 km height. (2) There were no significant differences among the values of ion production rates in the free air observed by three chambers, above Pfozter Maximum, while (3) slight differences were found below Pfozter Maximum, especially at 4 - 15 km height. (4) It was found that the value of the ion-pair production rate at Pfozter Maximum in 1984 was large by about 1% than in 1982. (5) Our values of ion-pair production rates in the stratosphere are plotted, compared with those by Braesseur and Nicolet (1973).

(b) Aerosols and radiation

To understand the possible role of aerosols on radiation, integrated aerosol - radiation experiments were carried out. Aerosols in the stratosphere and the troposphere were observed by use of a lidar system and an aircraft. Measurements of downward and upward fluxes of solar and infrared radiation were made by a balloon - borne sonde and an aircraft. The effect of aerosols on the radiative heat budget was evaluated. The results are described in Chapter 5 through Chapter 8.

In Chap. 5 ground - based lidar monitoring of stratospheric aerosol is described. Large amounts of dust particles were injected into the stratosphere by the volcanic eruption of El Chichon in late March and early April 1982. The ruby lidar (wavelength 694.3 nm) at the Meteorological Research Institute detected an increase of dust particles.

Backscattering ratio (R), backscattering coefficients (β_A) and integrated β_A over a height range of 16.5 - 30.5 km (B) are shown in the tables, and the time variation of B in the figure. After the eruption, two enhancements of B appeared - in May and in December 1982. The value of B decreased gradually with a time constant of about 7 months during December 1982 through September 1983. No seasonal variation of the stratospheric aerosols was clear as yet.

R or β_A was estimated as follows. The backscattering coefficient of atmospheric molecules was calculated by $\beta_M = n \times 1.771 \times 10^{-27} \text{ cm}^{-1} \text{ sr}^{-1}$, n is the density of atmospheric molecules obtained from daily rawinsonde at Tateno near the lidar site and average data of meteorological rocket sondes at Ryori ($39^\circ 03' \text{ N}$, $141^\circ 50' \text{ E}$). A weighted mean method was used to calculate R , β_A and their standard deviation (Russel et al., 1979). The ratio of aerosol extinction to aerosol backscatter was assumed to be 50 steradians.

In Chap. 6 observation of the fluxes of solar radiation by solar radiation sonde is described. The structure and calibration of our solar radiation sonde are briefly described. Unlike the radiometer sonde, the swing of the solar radiation sonde affects largely on the measurement of downward solar radiation. The method of eliminating or minimizing the effect of the swing is described.

Then the observation results on the altitude distribution of both upward and downward solar radiation fluxes on several days under a clear sky are shown. The observation shows the upward (reflective) solar radiation flux is clearly affected by the reflective property

of the ground surface and that the atmosphere is heated by solar radiation as expected by theoretical estimation.

In Chap. 7 observation of the fluxes of infrared radiation by radiometer sonde is described. The structure of our radiometer sonde is briefly described and the calibration of the radiometer sonde, especially the effect of wind speed (air flux) on the instrument constants of the sonde is described on the basis of the experiments.

Then the results of observation of the altitude distribution of both upward and downward infrared radiative fluxes on several days under a clear sky are shown. The infrared radiative net fluxes (upward flux minus downward flux) observed cause atmospheric heating in layers above 100 mb level, while those computed using the altitude distribution of temperature and humidity obtained by radiosonde within three hours after each observation of radiative flux cause atmospheric cooling in the same layer as usual.

In Chap. 8 simultaneous measurement of aerosols and solar and infrared radiation by aircraft is described. A series of aircraft observations was carried out for this purpose over Tsukuba (land) and Kashimanada (sea) in three winter seasons.

Effects of tropospheric aerosols on the solar and infrared radiative heat budget were evaluated. In the lower troposphere the solar heating rate due to absorption by aerosols is about twice as large as that due to water vapor. In a dense haze the infrared radiative cooling rate tends to be smaller, with an intensified cooling rate near the top of the layer. The vertical profile of radiative heating and cooling rates well corresponds to the vertical distribution of aerosols, which is, in turn, closely related to the atmospheric profiles such as temperature inversion and mixing layer.

(c) Data analysis and numerical modelling

Global data analysis was made to understand the coupling between the upper and the lower atmosphere. Special attention was focused on the relation between the day-to-day change of geomagnetic Sq fields due to ionospheric wind variations and the vertical energy propagation. The relationship between the climatic variation and the geomagnetic variation was also studied by statistical method. For the understanding of the physical processes in the middle atmosphere numerical models were constructed without any parameterization for small-scale motions such as internal gravity wave and dry convections, and the role of

these motions was studied. The results are described in Chapters 9 and 10.

In Chap. 9 the relationship between middle atmosphere disturbances and geomagnetic variations have been studied using various data, such as geomagnetic variations, geomagnetic activity indices, ionospheric variations, aerological data, surface meteorological data and sunspot numbers. Various relationships are suggested from the observational results of the present study.

It is clarified that the focus of Sq currents varies day by day with a period of several to several ten days. It is also suggested that the variation of the Sq focus is related to the planetary wave. Secondly, it is clarified that QBO is also seen in the geomagnetic variations. However, the physical relationship between the geomagnetic QBO and the meteorological QBO is reserved for future study. The relationship between the climatic variation and the geomagnetic variation is also examined in the present study.

The influence of geomagnetic disturbances on the tropospheric circulation has been investigated for five winter seasons (1976 - 1981) using superposed epoch analysis.

It was found that changes in planetary wave activity occur in middle and high latitudes after geomagnetic disturbances. Significant increase of weather forecast errors near the trough regions are also found one day after geomagnetic disturbances.

In Chap. 10 the general circulation of the middle atmosphere is simulated by means of a two-dimensional and a three-dimensional primitive equation models. The models are capable of explicitly representing internal gravity waves of zonal wavelength greater than a few hundred kilometers (in a three-dimensional model). No parameterization is employed for subgrid-scale eddy viscosity.

With the assumption of a simple external-heating function corresponding to solstice conditions, time integration was performed. During the whole period, random forcings were imposed on each grid of the lowest level in order to generate small-scale upward propagating internal gravity waves.

Experiments have shown that small-scale waves were indeed excited, propagating upward, broke up near the mesopause, and greatly changed the thermally induced zonal mean motion and temperature fields in the upper mesosphere and the lower thermosphere. As a result, important features of the general circulation at that level, such as reversals of the zonal motion and the latitudinal gradient of zonal mean temperature, were reproduced.

In Appendix some of the observations in Antarctica concerning minor constituents are described. Ozone observations were carried out at Syowa Station, Antarctica ($69^{\circ} 00' S$, $39^{\circ} 35' E$) from February 1982 to January 1983. The observation items were total ozone amount, vertical distribution by ozonesonde and Umkehr observations, and surface ozone mixing ratio. Many interesting characteristics have emerged from these results, such as the total ozone maximum in winter.

Columnar amounts of atmospheric minor constituents such as N_2O , CH_4 , $CFCl_3$, CF_2Cl_2 and HNO_3 were determined from the infrared solar spectra for the period 24 March 1983 - 29 December 1984 at Syowa Station, Antarctica. Total atmospheric nitrous oxide (N_2O) deduced from the transmittance of solar radiation at 2576 cm^{-1} ($3.88\ \mu\text{m}$) indicated seasonal variation with two maxima - in spring and autumn. The volume mixing ratio of tropospheric N_2O was close to 300 ppb.

At Syowa Station, volume mixing ratios CF_2Cl_2 and $CFCl_3$ increased by 5 - 6 % yr^{-1} between February 1982 and December 1984. Those at Syowa Station were 3 - 4 % lower for CF_2Cl_2 and 5 - 7 % lower for $CFCl_3$ than those observed over Japan in the same period. These increasing rates and differences between the southern and northern hemispheres were both smaller than those observed in the 1970' s. Volume mixing ratio of N_2O was almost constant in the same period, and no difference was found between the southern and northern hemispheres.