

# MAP について

加藤 進\*

## Middle Atmosphere Program

Susumu KATO\*

**Abstract:** The middle atmosphere, which extends from the tropopause at an altitude of 10–15 km to the lower thermosphere at about 120 km, has remained inaccessible to observation, and thus poorly understood, for many years. However, it is now realized that the middle atmosphere is an important part of our environment which we must understand. Weather and climate may be affected by the middle atmosphere, which is disturbed from below through various natural and artificial processes and from above through precipitating particles, etc. of solar origin. Pollution from man's activities may upset the chemical balance in the middle atmosphere, resulting in increased health hazards to all life.

The Inter-Union Special Committee on Solar-Terrestrial Physics (SCOSTEP) has proposed the Middle Atmosphere Program (MAP) as an international scientific project to increase our understanding of this important region. The necessary observational techniques, largely of a remote sensing type, are currently available, as are large computers necessary for the data analysis and theoretical support.

Well coordinated observations will be essential in the middle atmosphere program because of the complex coupling between chemical, transport, and radiative processes. In Japan a Working Group for MAP has been established by the Science Council of Japan, and the planning for MAP is now under way.

**要旨:** Middle atmosphere は成層圏より熱圏下部に至る大気を指している。この大気の部分は従来ほとんど知られざる世界であった。この middle atmosphere の重要性が明らかになったのは、超音速飛行 (SST) で発生するエンジン排気ガスが、成層圏のオゾンを破壊する恐れがあると警告された頃からであった。その後、人間活動が地球環境に与える影響に関する研究の発展と共に、広く middle atmosphere 全体の解明が重要な問題となってきた。一方、超高層へのエネルギーの収支、太陽活動と天気、気候変動との関連といった問題の解明にも、middle atmosphere の研究が必要となってきた。リモートセンシング技術の進歩、大型計算機

---

\* 京都大学工学部附属電離層研究施設. Ionosphere Research Laboratory, Kyoto University, Gokanoshō, Uji 611.

の出現もこの研究推進の要望の重要なモーメントである。SCOSTEP（国際太陽地球間物理特別委員会）はこの状況のもとに、MAPを計画することになり、日本もこれに応ずる準備をしている。

## 1. 事のおこり

宇宙飛行士が人類史上初めて月面に降り立った姿を見たときの感動を、私は今でもはっきり覚えている。しかし、その月面から眺めたわが地球の美しさを知った時は、さらに大きな感動を受けた。それは青い空に浮ぶ雲でおおわれている地球だった。宇宙科学の発展の一つの段階で、わが地球を省み、これを一層深く知りたいと感じたのは私だけではないであろう（図1）。地球を取り囲む大気全体を統一的に一つの連続した実体として考えてゆく上で、超高層と下層大気の間広がる未知の中層大気の振舞を解明することは不可欠の要請である。

成層圏を飛ぶ超音速飛行の排気ガスがオゾンを破壊すると、地上に到達する紫外線（300-320 nm）の量が増し、皮膚ガンの発生率が増加する恐れがあるという警告に、世界の人々が驚いたのは10年程前のことであった。従来人間の生活にあまり関係ない成層圏



図1 雲の渦巻く青色の惑星である地球

Fig. 1. View of the earth from the satellite.

が、私達の生きてゆく上に直接関わっていることを知らされた意義は大きかった。大気のオゾンを破壊する物質が人間によって作られ、大気運動で上方に輸送されていることも次々と分かってきた。それは自動車の排気ガスや、人工肥料の使用に伴う窒素酸化物  $\text{NO}_x$  であり、日常いろいろなスプレーに用いられるフロンガスや将来活躍を期待されるスペース・シャトルの排気ガスから作られる  $\text{ClO}_x$  である。これ等の物質は触媒としてオゾン破壊するだけで、自分自身はその作用では消滅しない。特に、成層圏下部では自然の力によって、これ等汚染物質が浄化されるタイムコンスタントは大変長く、 $\text{ClO}_x$  では数十年であるために、その被害の恐れは深刻である。

一方、火山活動 ( $\text{SO}_2$ )、海水の蒸発 ( $\text{HO}_x$ ,  $\text{ClO}_x$ )、植物による  $\text{HO}_x$  の発生など自然も同様な作用をしており、これは自然と共に長い歴史を持っている。太陽活動に伴って高速のプロトンが、(主として)極冠帯の大気に突入して  $\text{NO}$  を作り出す。この  $\text{NO}$  は大気のいろいろなスケールの運動により、遠くまで広がってゆくであろう。高速の粒子の大気突入はこの他、制動輻射によって X 線を発生させ、この X 線は大気の奥深く入りこんできて、 $\text{NO}$  を発生させることも考えられる。このように純科学以外の人間の生存と関わる問題も中層大気の研究には関わっている。

## 2. MAP とは

MAP は Middle Atmosphere Program の略であり、middle atmosphere とは成層圏から熱圏下部に至る大気である (図 2)。オゾンの加熱で対流圏界面から高さと共に温度が上昇し、約 50 km の高度に極大 (270° K) をつくっている。さらに上昇すると再び温度は下降し、約 80 km で極少になる。その後酸素の解離で加熱され、再び上昇し熱圏を形成している。地球大気に雲が発生し得る領域は、温度と圧力で限定され、対流圏より上では middle atmosphere の上部、mesosphere の圏界面 80 km 近くだけが、この雲発生の条件を満たしており、ここに夜光雲がみられる。MAP 計画を推進する国際学術協会は、SCOSTEP (太陽地球間物理特別委員会) であり、IAGA (国際超高層物理協会)、IAMAP (国際気象学・大気物理学協会)、URSI (国際電波科学連合)、WMO (世界気象機関) が承認し、賛成している。実施時期と期間は、本年末までには決められる予定であるが、ほぼ、1982 年頃から数年間続くことになるであろう。Phase 1, 2 と二つに分割する方がよいという意見も出ている。すでに MAP 計画会議が、一昨年 6 月に米国イリノイ州アーバーナで開催され、MAP の基本的考え方と方針が論議され、報告書が発行された。これは

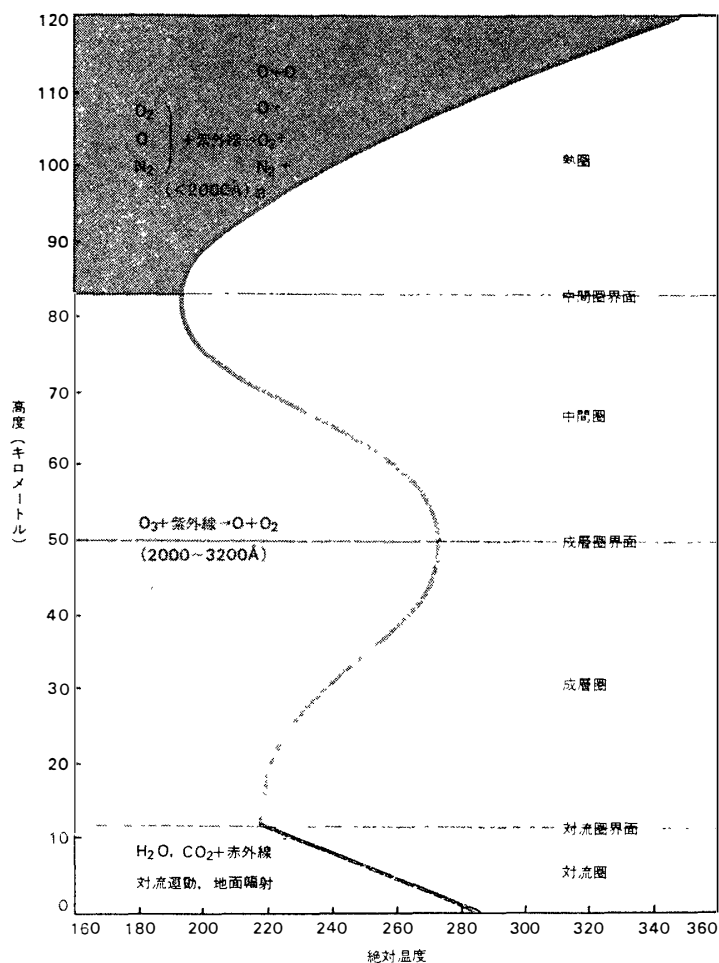


図 2 大気温度の高さ分布 (島崎, 1977)

Fig. 2. Altitude profile of atmospheric temperature (SHIMAZAKI, 1977).

MAP の出発点になるすぐれた review と言える。

日本学術会議の国際協力事業特別委員会の STP 分科会 (永田武委員長) は, MAP の重要性を早くから認め, W. G. を組織し, 日本における MAP 計画を進めている。故等松隆夫氏は, この W. G. の調査結果を interim report としてまとめたが, この report は昨年夏, シヤトルでの IAGA 総会中に開かれた MAP 会議で, 永田武委員長と等松隆夫氏から紹介された。MAP に関する科研費のシンポジウムも一昨年秋にすでに開かれているが, この春には学術会議の STP 分科会がシンポジウムを行い, 秋の総会では正式に議論が行われるよう準備を進めている。

### 3. MAP の意義と問題

MAP の意義は上述したように, 単に学術上のみならず人間の環境の問題とも関わって

いるが、まず科学的なデータを集めて、科学的に middle atmosphere の姿を明らかにすることが大切である。環境の科学的に正確な理解なく汚染の問題も解決できないであろう。この科学的理解には、middle atmosphere の (1) 組成と構造, (2) ダイナミクス, (3) エネルギー収支について詳細な観測データに基づいた研究が不可欠である。つまりこれ等 (1), (2), (3) の時間的・空間的状态を知らねばならない。しかし、問題はさらに複雑であるというのは、この三つはいずれも独立した状態量ではなく、互いに相互作用を及ぼす複雑な系を形成しているからである。たとえば、温度分布を知るためには、オゾンの分布を知る必要があるが、オゾンの分布は大気運動によって変化し、大気運動は温度の分布による。そしてこの温度を決めるには、放射場も関係している。温度分布はオゾンだけでなく、エアロゾル分布にも影響されている。オゾンの量は  $O$  や  $NO_x$ ,  $ClO_x$ ,  $HO_x$  などとも関連しているのは上述した通りである。他方、運動にもいろいろのスケールのものが存在し、これらも互いに結びついている。興味ある例はオゾンの世界的分布 (図 3) である。オゾンの発生には、太陽放射線による作用が基本となっており、発生率の極大は太陽直下の地点にあることは容易に想像される。もちろん、夏の方が冬より大きいことも当然予想される。しかしながら、実際に知られているオゾン量の分布は、これらの予想とはまったく異なって、冬のしかも太陽光のほとんど届かない極地に極大値を有している。これは、静的な光化学反応だけで  $O_3$  の分布を決めることは間違いであり、大気運動に伴

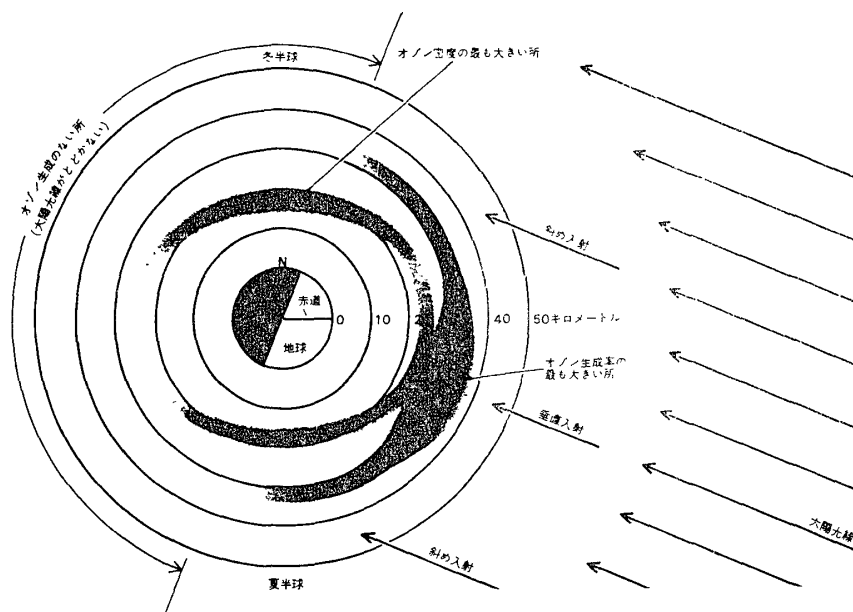


図 3 オゾン密度分布とオゾン生成率分布 (島崎, 1977)

Fig. 3. Profiles of ozone density and ozone production rate (SHIMAZAKI, 1977).

う輸送が重要であることをはっきりと示している。この例からも明らかなように、MAP では総合観測がきわめて重要なのである。

対流圏のプラネタリー波は、天気や気候変動に影響を与えているが、これ等の振舞を決める上部境界条件に、middle atmosphere の運動や温度分布が一役買うことも可能である。帯状風の速度と波動の水平伝搬速度が等しいと強い相互作用が起こり、波の反射、吸収が起こることはよく知られている。温度分布も反射、屈折に影響する。そして、この温度分布に地上から運ばれる物質が、影響を与える等々複雑に原因・結果のループはつながっている。考えてみると、人間生活あるいはもっと広く生物の生存環境は、超高層での状況に比して、ごくわずかな変動が重要なのである。平均温度が、数度異なっても超高層では問題にならないが、地上では農作物の生育は変わり、人間の食料に影響するということになる。

さてここで、MAP における極地観測、高緯度観測の意義について述べたい。ここでは上述したように、地球の外からの影響を受け易い点で極めて特異であり、太陽活動と気候の関係を探るには重要な観測点である。これの他にもいくつかの重要な問題をもっている。Middle atmosphere の上部では、大変重要な大気の動きとなる潮汐波、特に一日周期負モードの決定には、高緯度観測が重要であることは、このモードの緯度変化をみれば分かる。また、従来赤道成層圏に限られていると思われていた QBO (準二年振動) が、高緯度の中間圏 (高度 60 km が中心) にも存在しているらしい (NASTROM and BELMONT, 1975)。これは middle atmosphere 大循環を知る上で重要であり、これが物質や熱の輸送とも関わり合い、対流圏や熱圏に影響するということにもなる。夜光雲中にみられる波動も大気波動の振舞いを理解する上で重要である。これも高緯度特有の現象である。

#### 4. MAP での観測法

MAP の観測法の中心はリモートセンシングである。Middle atmosphere の直接観測はきわめて限られている。たとえば、気球はせいぜい 30 km 位の高度にしか達することができない。気象ロケットは有効な方法であるが、連続観測には向かない。たかだか平均、週 1 回打ち上げるのが日本では可能な回数であろう。リモートセンシングの技術の最近のすばらしい発展が、MAP を推進するモーメントになっている理由がここに存在する。リモートセンシングには二つの方式があり、一つは地上から行うものであり、他は衛星から行う場合である。いわゆる地上観測はすべてリモートセンシングであるが、この中で中型

IS レーダーともいふべき MU レーダーを建設し、これによって middle atmosphere の運動を観測する計画を本著者等はたてている。これは日本での大型計画の一つになる。

光を用いるものとしては、ライダーによる微量成分、エアロゾルの観測が特長の一つである。衛星からのリモートセンシングの主役は、ラジオメーターになりそうである。赤外ラジオメーターによって、きわめて正確に middle atmosphere の温度測定が可能になった。

MAP での一つの特長は観測の他に、室内実験によって必要な光熱化学反応、ガス分析に関して精密な測定を行うことである。当初は分からなかった問題が起こり、特定の微量成分のきわめて正確な反応係数が緊急に必要となることは、従来汚染の問題発生から考えて、十分予想される。

直接観測ではロケット・気球の他に航空機も下部の観測には活躍することになる。

MAP においては精度のよい同時観測データがきわめて多量に集められると予想されるが、これ等をもとに地球大気の統一モデルの作成が最終目標である。これは、人間活動が大気に及ぼす影響、天気、気候変動の予測に関する私達の知見を大きく増加させることになる。現在、超大型とも言える計算機の出現が、そして何よりもこれを駆使して研究を進める多くのすぐれた研究者の出現が、MAP の重要な推進力である。

## 5. 終 り に

Middle atmosphere は従来の気象学、超高層物理学のいずれの対象にも属さない境界領域であったが、いまや、これ等のいずれとも密接に関連した領域になってきていることを強調したい。また、middle atmosphere の研究において、対流圏、電離圏の情報は不可欠とも言えるもので、MAP においてこのことを忘れてはならない。MAP を通して、地球環境の解明に関連研究者間の新しい交流と協力が生れることを期待したい。

## 文 献

- NASTROM, G. D. and BELMONT, A. D. (1975): Periodic variations in stratospheric-mesospheric temperature from 20-65 km at 80°N-30°S. *J. Atmos. Sci.*, **32**, 1715-1722.  
島崎達夫 (1977): 大気圏オゾンの破壊. *サイエンス*, **8**, 80-93.

(1978年6月10日受理)