

惑星大気入門

—昭和48年度秋期気象若手勉強会報告—

気象若手会は学会時に際して勉強会を開いて来ましたが、昭和48年度の仙台学会からは、勉強会の予告を天気に出し、学会会員の皆さんにも参加していただけるようにしました。参考までにこれまでの勉強会の主な内容を書きつらねますと、丸山健人(1969)「熱帯擾乱の研究に用いられているスペクトル解析法について」、楠田信(1969)「大気潮汐論について」、時岡達志(1969)「ポアソン方程式の直接解法」、木村竜治(1970)「対流の実験法私感」、会田勝(1972)「大気放射学入門」、田中浩(1972)「大気乱流論入門」などです。今回のテーマに関しては若手会員の要望もあり「惑星大気」が取り上げられました。それで日大の森山茂氏に「火星大気」について、気象大の駒林誠氏に「惑星大気の循環と大気中の結晶の成長」についての講演をしていただきました。勉強会のスケジュールが学会の大会前日であるために、講師の意気込みに見合うだけの参加者があるかどうか、世話係としては懸念したものでしたが、折りからの強雨にもかかわらず全国各地から40名以上の参加があり、活発な勉強会となった。話題が豊富な上に、質問・討論が盛んで、予定の時間が大幅に延び、駒林氏の話の後半部分は今後の機会にということになった。これらの講演をその場限りしておくには勿体ないので、お二人にお願いして、天気に掲載していただくことにしましたので、学会会員の益になればと思います。(気象若手勉強会世話係*)

火星の大気** (講演 1)

森 山 茂***

1. 序

火星は不気味な赤い星として、遠い昔から人間達の限らない注目を集めていた。その輝きは、血のイメージに結びつけられ、軍神として、遠い昔から、人々の興味を引いて来たのであった(Marsとは、ローマ神話の軍神の名である)。更に近代に到って、火星に生物がいるかも知れぬという期待が持たれるようになってからは、火星への興味は、増々、増大する事になった。

1877年、イタリアの天文学者、ジョバンニ=スキアパレリが、初めて、火星表面を走る細かい直線の模様を発

見し、更に、アメリカのパーシバル=ローウェルが、運河説を主張、そして、火星人の存在、高度な文明の存在を主張したのであった。その真実性は別として、我々の火星への関心は、これを機会に、飛躍的なものになったといえよう。

しかし、その後の急速な観測技術の進歩と、多くの熱心な、そして忍耐強い観測や研究により、次々と火星の全貌が明らかになりつつある。例えば、火星の大気存在、雲の存在、極冠の存在、四季の移り変わり、生命の存在の可能性など、多大の興味を引くと共に、次第に、解明されようとしている点も多い。

そして、近年、気象学、あるいは、大気科学的立場からも、火星へのアプローチがなされ始めているのである。1965年のアメリカの宇宙探測器マリナー4号の火星

* 佐藤康雄，他東北大院生・東大院生

** The Martian Atmosphere

*** S. Moriyama 日本大学習志野校舎物理教室

—1973年12月24日受理—

接近により、初めて、火星表面の近接撮影が行われて以来、マリナー6, 7, 9号と、表面の撮影、下層及び上層大気の状態の測定が行われて来た。最近のめざましい宇宙科学の発達により、地球のみの気象学から、我々の関心は、他の惑星へも向けられるようになって来た。ここでは、我々が、地球の大気について持っている多くの知識が応用される事だろう。他の惑星自体、様々な環境の下におかれた巨大な実験室であるといえる。そして、更に、太陽系の起源に迄、今や我々の関心は及んで来ている。とも角、今後、惑星大気の研究は、気象学を超えて、生命の起源の問題迄含みつつ、ますます発展することであろう。

所で、火星大気の研究に話を戻そう。火星大気の研究については、1950年、アメリカの *Journal of Meteorology* に Hess の論文が掲載された時、火星大気の大気図まであらわれ、これが口火を切った格好になった。そののち、地表温度や、大気組成など、飛躍的な量の観測と共に、次々と新しいデータが出され、どんどん古い値が塗り変えられて行った。特にマリナー以後は、観測的研究及び理論的研究のいづれに於ても、質・量ともめざましいものがある。もはや、火星大気の研究に関する限り、地上からの目視観測をもとに、一部の天文学者があれこれ憶測をしていた、いわば第一次的段階を越えて、大気物理学者のより詳しい研究に委ねられて来ているように見える。現に、火星の気象学は、もはや、概観的な議論を終えて、更に分化した詳しい現象の研究へ入りつつある。

研究者は、初め、限られた一部の気象学者、天文学者が細々と取り組んでいた様であるけれども、その後、惑星大気への関心が高まるにつれて、研究者層も広がって来ている。日本でも、金星・火星・木星の下層、上層大気の研究に関する論文がいくつか出されている。ともかく、惑星空間への進出は、今後、目ざましいものがあるのではなかろうか。

以下で、火星について長年行なわれて来た観測結果を review し、火星の下層大気の理論的結果及び、未だ説明されていない興味ある現象を話題として提供しようと思う。

火星は地球の外側を公転している為に、その1年は約687日である。しかし、公転面に対して、赤道面の傾きが $25^{\circ}12'$ あるため、地球と同じ様に四季の移り変わりが観測される。自転周期は、殆ど地球と同じで、24時間38

分である。自転率が高いので、平均的な zonal wind は地衡風バランスの中にあると考えられる。半径は、地球の約半分、重力加速度は、約38%程である。

火星の表面気圧は、長い間、85mb とされて来たが、最近のマリナー等の測定で、ほぼ確定した。それによると、 CO_2 が78m-atm、で約5 mb、その他、 CO 7.3cm、 O_2 10.4cm、 O_3 2×10^{-4} cm、 H_2O $10 \sim 20 \mu$ precipitable water であり、又、 O 、 CO_2^+ 、 H 等が見出されている。

2. 火星観測の要約

(A) 火星の表面

ここでは、火星表面に密着した、可視部分の観測結果を、一通り要約しておく。これらは、大部分、望遠鏡による実視、及び写真観測による結果である。火星大気は、ダストストームの時を除いて、だいたいよく晴れているのであるが、望遠鏡で眺めると、大きな望遠鏡でさえ、赤味がかかったオレンジ色の小球でしかなく、地球大気の乱れのために、いつもチラチラゆれていて、相当な訓練者でないと、白い極冠と、暗いまだら模様以外には、何も見えないそうである。しかし、この様な困難の中からも、永年の天文学者の観測した結果を要約すると、次の様な火星表面の様子に対する out-line が描けるようである。

a) 極冠 (polar cap)

これは、望遠鏡で見ると、極附近に白く見える部分である。火星の秋の間に形成され、春が来ると小さくなって行く。白い雲やヘイズで覆われている。又、その周辺は dark band で覆われている。

South Polar Cap は、緯度83度付近を中心に広がっているけれども、その最盛期には、45度近く迄、おりて来る。しかし、夏には、消えてしまう。春になると、裂け目が現われ、しばしば、この South Polar Cap の周辺に明るい点光が現われることがある。

一方、North Polar Cap は、北半球の冬の時でも、緯度57度位迄しか拡がらない。しかし、反面、極小の時でも、緯度83度位迄しか減退しない。つまり、夏でも、わずかに残っているらしい。

極冠が何から作られているのか、今でもかなり論争がある。以前は、water (snow or ice) から出来ているといわれていたが、計算機を使ったエネルギーバランスの詳しい計算が出来るようになって、冬になれば、 CO_2 の凍結点 (148K) 以下になりうるという論文が1966年あたりから出されるようになって以来、極冠の H_2O 説

は、押され気味だった。しかし、極冠の reflectivity は、solid の CO_2 のそれより、はるかに低い事や、 H_2O が、その量を季節的に相当変化させているらしい事、夏の極の高山などで H_2O が見つかった事（マリナー9号）などから、極冠は H_2O から出来ていて、季節毎に交互に赤道を越えて、北極と南極とで H_2O を交換しているという“ H_2O の渡り鳥”説も捨て難い所がある。マリナーの温度観測でも、決定的な結果と迄は行かず、 CO_2 or H_2O という事になっている。ただ、筆者あたりの考えでは、恐らく H_2O が核になるような形で先ず凍り、次いで CO_2 が凍結して行くという、Capen 等の説を取りたい。中緯度迄おりて来る極冠は、恐らく CO_2 ではないかと思える。数値実験でも、 CO_2 の凍結点近くの値を変動し、日射の影響を非常に受けているらしい。我々は、ある時は H_2O の cap を、又、ある時は、 H_2O の上にかぶさった CO_2 の cap を、あるいは、 H_2O と CO_2 の cap を見ているのではないだろうか？

Leovy and Mintz (1969) の数値実験では、極冠を CO_2 とすると、 CO_2 の condensation により、大気の mass が減り、表面気圧の減少を無視出来なくなると言う面白い結果が出ている。極冠が、 CO_2 か H_2O かの論争は、もう少し続くだらうが、やがて、探測機による直接観測でけりがつくだらう。

b) 暗色地帯 (dark area)

これは主に、赤道、又は、南半球を中心に拡っていて、一般に灰色に見える所である。(vivid green とか、blue だと言う人もある。)しかし、色は季節によって変わり、夏は dark green 又は、blue gray に、そして、冬は、lighter grayish brown, violet brown に見えると言う。全火星表面の25~35%をおおっていて、次々と暗色地帯は、発達したり、縮小したりする。春になると、極冠が融け出すにつれて、いくつかの道筋が色濃く変化し、あたかも極からの mass がこの道を通して赤道から他の半球へ移って行く様に、colour change が進んで行く。この進む割合は、30~45km/day であるという。これを一部の天文学者は、水蒸気の輸送路という意味で、vapor course と呼んだりしている。又、この色の変化が、丁度、波が進行して行く様に見える所から、darkening wave と、この現象を名付けている。これらの色が、地球の苔に似ていることや、春になると生きづいたように色を変化させることから、下等な植物の存在を云々した事もあったが、最近では、表面をおおっている粒

子が、季節的な風の変化によって変わるのだとの見方が強い。現にマリナー9号の写真を見ると、表面の模様は、風によってかなり変わっているのが見えている。又、大きなダスト・ストームの後では、模様が変わるようなことも最近発見されもしている。

表面の高低との相関は強くない。マリナーの写真を見ると、暗い地帯に、クレーターが多いかな、という程度である。レーダーによる観測結果と照合してみると、強いて言った場合、暗い地帯が傾斜面であったり低い所であったりするが、勿論、例外も多い。例えば、有名なヘラス大陸は明るいにもかかわらず、盆地になっている、というように。

c) 明るい地帯——砂漠 (bright area)

これは、disk の大半をおおっていて (65~75%)、赤土色、橙色に見える所である。0.46~0.64 μ の間の波長を反射し、季節による色の変化がない。ここをおおっている粒子が、あとで述べる yellow cloud の源になっていると考えられている。

(B) 雲について

様々な波長で見ると、火星の模様が、一日一日、ある時はもっと速く、変るという事実は、火星大気が、雲、或いは、aerosol の層を持っている事を示す。

色と性質により、普通、雲は次の三つの型に分けられている。

a) 黄色い雲 (yellow cloud)

これは普通、火星の赤味がかったオレンジ色の砂漠と同じ色をしていて、風によって地表から持上げられた dust ではないかと言われている。この雲は、風で吹き流されて動くにつれて、発達し、しばしば、火星の全 disk がこの yellow cloud でつまれる事がある。これが dust storm で、最近では、1956年と1971年に起っている。これらの現象は、南半球の solstice によく起り、発生地点が限られている (Hellasplatus Noachis 地帯が有名、共に高原)。

始めは、白い雲がその地点に発生し、それが次第に広がるにつれ、赤みを帯びて来ると言われる。普通、東風に流されて、これらの雲は移動する。dust は数10kmの高さ迄吹き上げられていると、マリナー9号から検出された。この dust による太陽光吸収をエネルギーソースとして、地球のハリケーンモデルを応用した火星の dust storm に対するモデル化の試みが最近 Gierash and Goody (1973) によってなされている。

b) 白い雲 (white cloud)

三つの型の雲の中、white cloud は最も頻繁に出現する。これらは、赤道、温帯、極地方に見られるけれど、dark area 上に特によく形成される様に見える。これらは、日出、日没に薄い、白い mist として観測されている。そして、太陽が昇ると急速に消える事から、地球で冷い晴れた夜に形成される fog に似たものかとも言われている。

white cloud による散乱太陽光の観測では、これらは、ice crystal から成っていて、丁度、cirrus cloud に似たものではないかとも考えられている。

又、午後になって、例えばヘラス大陸の様な所に発生するものは、積雲のように局地的な強い convection の影響を受けていると考えられる。

c) 青い雲 (blue cloud)

これは、冬の極とか、赤道地帯とか、ある決った局所によく出現する。しばしば、white cloud と共に現われ、それよりもっと高い所に浮んでいる。はっきりした事は、何も分っていないけれど Goody 等は、地球の夜光雲に相当するものだと言っている。火星のマリナーによる occultation 観測から、しばしば数 10km 上空で、CO₂ の凍結点以下の低温が見出されることがあり、あるいは、ドライアイスが浮んでいる可能性もある。後述べる blue haze の現象と関連が深い。

3. 火星大気に関する研究結果の要約

この章で、火星大気の運動(大循環)に関して、特徴的な点を中心に話しを進めて行こう。

Leovy and Mintz (1969) は、それ迄の観測結果を詳しく考慮した大循環モデルを作って数値実験を行い、幾つかの欠点はあるが、ほぼ火星大気大循環の特徴を明らかにし、更に天気図の日々の移り行き迄、目視的に我々の前に提供した。

火星大気の場合、大洋が存在しないこと、それから、condensation の現象が、大変弱く希な為、地球大気の研究に較べて、その理解が相当容易かも知れないと言われて来た。しかし、最近、火星の地形が地球のそれと、相当異っているらしい事が分って来て、地形の効果を考えないといけないし、これが大循環そのものに相当影響を与えるらしいという研究がいくつか現われた。特に、地球では、殆ど局地的にしか問題にならぬ、slope wind の存在が、現在、盛んに議論され、例えば、1000km 程のスケールで、一般流の増大に多大な効果を及ぼすことなど判って来ている。Florida State Univ. の研究者等

で、この slope wind を考慮した大循環モデルが作られつつあるらしいので、地形を全く考えぬ Leovy and Mintz の実験との対応が楽しみである。Leovy and Mintz のモデルで、まだ完全と言えぬものに、もう一つ、sub-grid scale の現象に対するパラメタリゼーションがある。地球でもその完全な理解は難しいが、ただ、地球の場合、多くの観測からパラメタリゼーションをある程度の正確さを持って出来る訳である。しかし、火星の場合、small scale turbulence による熱の convection とか、frictional drag のような surface boundary layer effect のパラメタリゼーションは、今の所、その精度に於て期待出来ない。

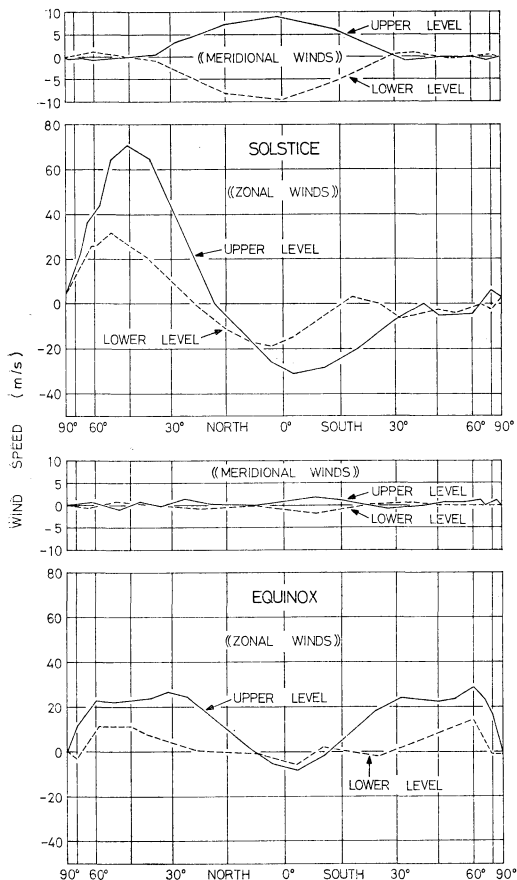
以上のような欠点が Leovy and Mintz の実験にあるが、それでも、この数値実験は、火星大気大循環の特徴をほぼ、一次的には表わしていると思われるので、この実験を中心に、話を進めたいと思う。

a) 風 (第 1 図)

solstice に於ては、冬半球の中・高緯度でかなりの強風が吹いていることになり、大気波動が卓越している。力学的観点から見て、面白いのは、冬の極冠で CO₂ condensation がある為、この CO₂-cap 方向へ net mass flow があって、そのコリオリトルクにより、かかる冬半球の強い西風を維持しつづける事である。それに反し、赤道近くで強い東風の極大があり、更に夏半球の殆どで、弱い東風になっている。又、赤道をよぎるかなり強い直接循環が存在している。このことは、以前から、かなりの観測者によって指摘されていたことで、南北での水蒸気の交換説の手掛りになっている。又、夏半球の東風も、ダストストームの流れの観測から以前から言われていた事である。

equinox では、地球の状態に似ている。両半球で、中・高緯度での wave cyclone を共なる西風が見られ、熱帯地方で、東風になっている。ただ、地球のような index cycle ($\bar{K} \leftrightarrow K'$) が見られなかったそうである。

最も特徴的なのは、circulation 中に、大きな diurnal tidal component が見られる事である。これは、火星の radiative time constant が短い事によるのであろう。それ故、大気は火星表面温度の日変化にレスポンスする。そのレスポンスは、地球の 30 倍である。これが強い diurnal な熱潮汐を起すことになる。特に、surface layer 近くで最も強い。その効果の大気への penetration の程度は、約 1.6km と言われ(地球では数 10m)、大規模な循環へ与える影響を無視出来ない。



第1図 平均的な帯状及び、子午面方向の風速。横軸は緯度を示す。(Leovy and Mintz, 1969)

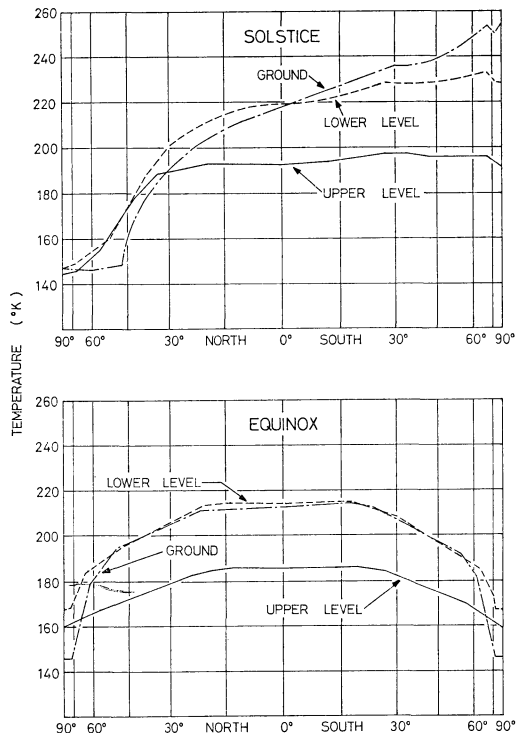
また、温度風の関係が成立していることを付加しておく。

b) 温度構造 (第2図, 第3図)

solstice では、全夏半球と冬半球の低緯度に於て、南北の温度傾度は弱い。だが冬の高緯度では非常に大きな傾度がついている。特に冬の極では CO_2 の凍結点以下になる。図を見てすぐ分かるように、火星の場合、日射の影響がすぐに効いて、最も太陽からエネルギーを受ける夏の極の温度が赤道より高くなる。

equinox では、地球の様に両半球に於て、赤道が極より温度が高い。又、両方の極で、 CO_2 が凍りうる所が面白い。

垂直温度分布を決める輻射(対流)平衡の計算は、数人の人々によってなされている。マリナーの観測と合せて、ほぼ対流止面は 20km 前後にあると思われる。た



第2図 各季節での平均温度。(Leovy and Mintz 1969)

だ、最近のマリナーのデータを見ると、20~30km 附近に10K 以上の鋭い温度の kink があるように思える。その原因については、明確とは言えない (Gierasch 等は low dissipation 大気モデルでこれを説明しようとしている)。また、この辺の高度で、波長数 km~数 10km の wave が発見されているので、今後、気象学的に興味ある現象が火星で議論されると思う。

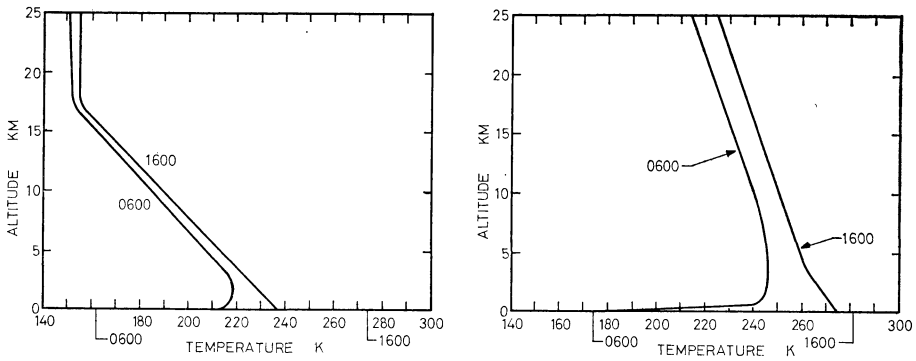
火星には、海が無い事と、地球のように、水蒸気による moderating の効果がないため、地表面の温度の日変化が大変大きい。赤道では、日中 300K 位に昇った温度も、夜になると、200K 以下に下降する。

マリナーの観測では、輻射対流平衡に関する従来の研究結果が示す垂直温度分布より、大変安定なプロフィールを示している。恐らくダストによる熱的な効果が、火星ではストーム時のみならず、かなり晴れている時でも、大きいと思われる。このダストによるエネルギー輸送の研究が行われねばならない。第3図の右図は、その様な試みの一つである。

c) その他の物理量について (第4図~8図)

mass flux の図で、solstice に非常に大きな北向き

after Gierasch and Goody (1972)

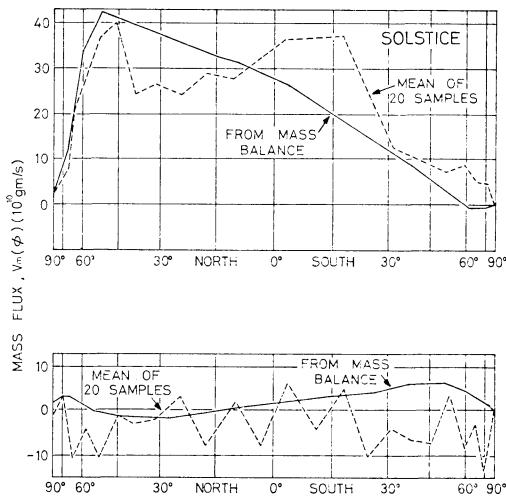


第3図 鉛直気温プロファイル. 左, dust による heating を入れない 輻射対流平衡の 数値実験 (CO₂ 大気) の結果. 右, dust による heating の効果を入れたもの. マリナーの観測は右図に近いプロファイルを示している. (Gierasch and Goody, 1972)

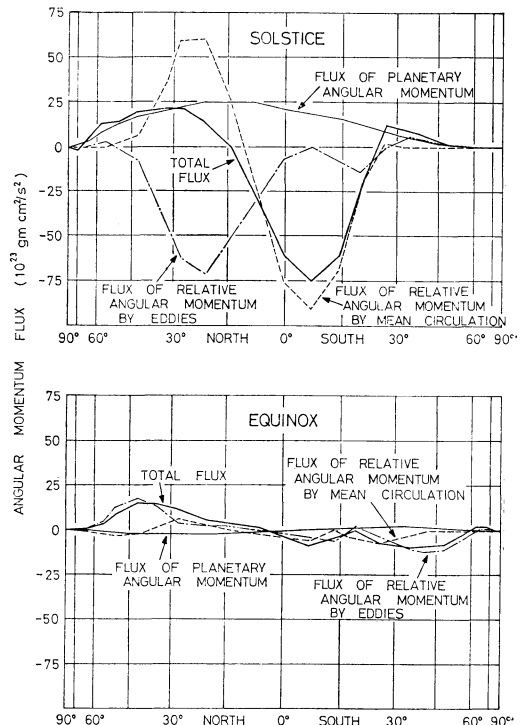
mass flux があるのは, 極で CO₂ が大気から凍結することによる mass loss の結果である. 前にも述べたように, この mass loss によって, 0.011mb/day という表面気圧の減少が計算されている. しかし, equinox では, 大きな極方向の mass flux を作るに到らない.

Leovy and Mintz の計算では, 山の効果を入れてないので, 角運動量は, 火星と大気の間では, surface stress によるトルクの働きと CO₂ の condensation loss による mass transfer によってのみ輸送される. 角運動量の net poleward flux は, 冬の西風地帯に於ては, Ω -transport term がその殆どを受持っている. これは, 冬半球で強い西風を維持している所の極冠付近での conden-

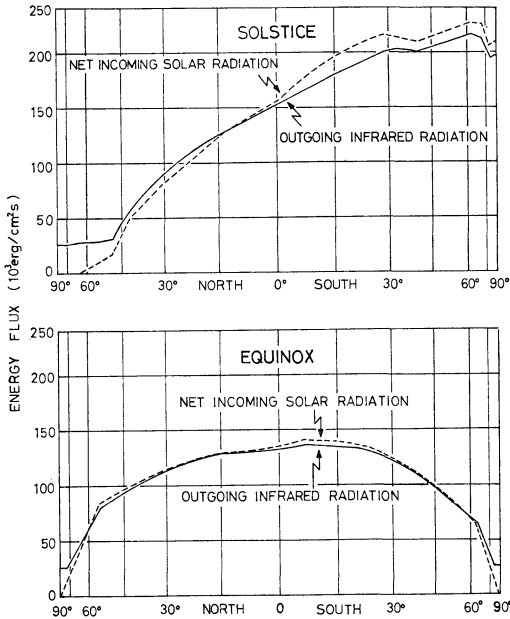
sation loss による mass の flux と関係がある. 又, 冬半球では, drift term と, eddy-flux term が均合っている. 特徴的な事は, 冬半球で大きな赤道方向への角運動量の, eddy による flux がある事である. これは地球上で普通見られるのと逆向きである. equinox では, 2つの西風地帯への角運動量の flux は, 主に, eddy に



第4図 北向きの mass flux の図. (Leovy and Mintz, 1969)



第5図 角運動量の北向きの flux. (Leovy and Mintz, 1969)



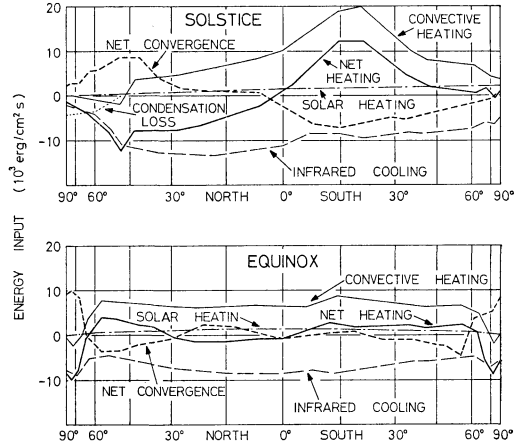
第6図 大気の top で、出て行く長波長放射と、入って来る短波長放射。(Leovy and Mintz, 1969)

よる flux term の極向きの flux によって維持されている。

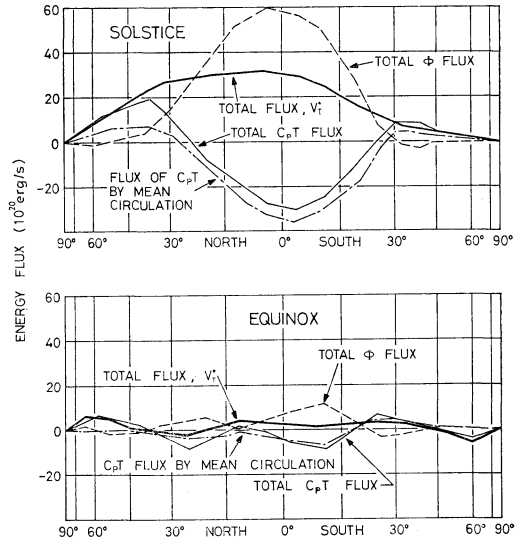
第6図の熱収支の計算を見ると、大気の上層に於ては、solstice では、短波長放射、長波長放射とも夏の極で最大である。そして、夏半球では、短波長放射が、宇宙空間へ逃げて行く長波長放射より大きく、冬半球で、その逆になっている。大気のみを加熱してみると、夏半球では大気は暖まり、冬半球で冷えている。これが赤道を越える、強い子午面での直接循環を起している事になる。それに対して、equinox では、複雑な様子を示している(第7図)。いずれにしても、太陽光による加熱は、大気に対しては小さい。ただ、ダストによる効果が気になる所である。

エネルギー輸送の図(第8図)を見ると、solstice で高緯度を除き、mean meridional circulation が、大きく輸送に寄与している。そこでは、sensible heat と potential energy での輸送が、互いに打ち消し合うような形を取りつつ、残りを輸送しているのである。高緯度では、殆どが eddy によって、輸送されていると見てよいだろう。

火星の場合、地球と較べて、CO₂ の窓領域が大きく、又、赤外での radiative relaxation time が短かく、更



第7図 大気自身の加熱、冷却に寄与するもの。(Leovy and Mintz, 1969)

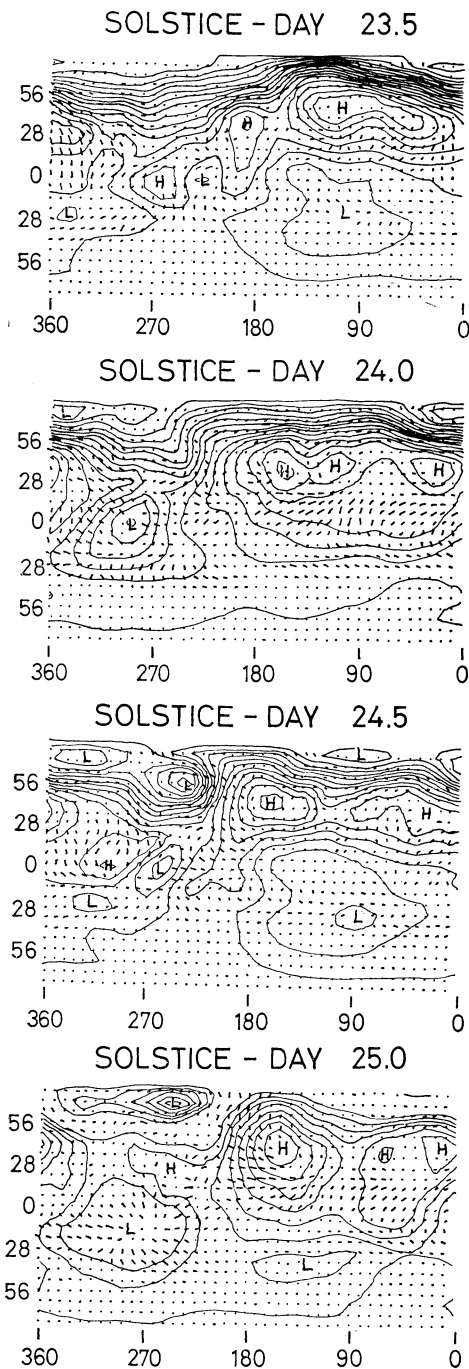


第8図 エネルギー flux と、それに寄与している位置エネルギー flux (Φ)、及び顕熱 flux ($C_p T$) を示す図。(Leovy and Mintz, 1969)

に大気が希薄なこともあって、入って来るエネルギーを相当逃がし、例え、入って来てもそれを運動エネルギーに変えてやる力が地球と較べて大変小さい。だから、heat engine として見た場合、誠に効率が悪いと言えるだろう。

d) シノプティックなパターン(第9図)

ここでは、火星で最も特徴的なパターンを示すと思われる、solstice での模様を示すことにする。特に、夏半球の大きな熱潮汐に注目されたい。太陽と共に、東から



第9図 北半球が冬の場合の、0.5日毎の地表面気圧、および風を示す大循環数値実験。北半球を上にとってある。夏半球の大きな熱潮汐に注目されたい。(Leovy and Mintz, 1969)

西へ、大きな diurnal tide が進行しているのが分るだろう。火星の天気を考える際、バロクリックな擾乱と同程度に、熱潮汐が効く事を考えねばならない。

4. Blue haze について

ここでは、火星大気の現象で今の所全く解明されていないにもかかわらず、もう半世紀も以前から議論されている blue haze の問題を簡単に述べてみたい。

普通、 $4,500\text{\AA}$ より長い波長で火星の写真をとると、その表面の detail が写し出される。しかし、この写真をとる波長が短くなって行くにつれて、その detail は、火星全体に広がる haze と思われるものによって急激に見えなくなって行く。これが所謂“blue haze”の現象であり、 $4,500\text{\AA}$ で現われ始める。blue haze を説明する場合、多くは、次の様な説明をしている。つまり、火星の上層に何かがあって、それが、表面から反射されて来る青い光を消しているのであり、長い方の波長には透明なのだという説明である。しかし、この現象に附随した色々な現象をうまく説明しうる様なモデルは今の所、全くない。

Blue haze の問題を考える上で、不可欠の特徴を簡単に述べてみよう。

a) Blue clearing

いつもは、上述の様に青の波長では表面が見えぬのであるが、突然、青い光に対してきれいに透明になる事がある。即ち、青でも表面の detail をよく見分け得る訳である。奇妙な事にこの clearing は、火星の衝の場合に殆どが観測されている。更に、観測的条件の有利さを考えても、依然として、衝と blue clearing の関係は強いという意見も多い。その他、小さなスケールの局所的な clearing も知られている。

b) Limb brightening

火星の blue での像は、普通、明るさが、disk の中心から辺の方へ向って増加して行く。この事実は、blue haze が薄い均質吸収層のみでは作られていない事を示している。

c) Blue haze の分光の性質から

blue haze による表面の detail の不透明さは、Rayleigh 散乱では到底説明出来ぬ程急速に、波長の減少と共に増して行く。又、青い光では disk が大きくなるという現象も、Rayleigh 散乱からだけでは説明出来ない。blue haze のスペクトルから、haze 中に、吸収成分がある事は確からしい。

Blue haze に対する理論的モデル化がいくつかなされ

ている。上述の現象を説明しようとする、吸収層が散乱層の下にあるというモデルが、良いことになっている。しかし、吸収物質が何か、blue clearingは何故起るかという点になると満足すべきものは無い。吸収物質としては、 CO_2^+ 、 CO^+ 、 N_2^+ 、 C_3O_2 、 NO_2 、 $(\text{C}_3\text{O}_2)_n$ 、 C_n ……等が考えられ、更に、yellow cloudを作っている dust, meteoritic dust 等も考える人がいる。

Blue clearing については、浮遊粒子の沈降説、吸収の性質を変える phase change、更には、solar proton による電離理論からの説明がなされているが、ここでは省略するが、いずれも欠点があって、今の所満足なものはない。とに角、全球的に、しかも衝付近で、1日から20日間も続く clearing の現象をどう説明したら良いであろうか。

最近では、この現象は、大気現象ではなくて、光学的に表面のコントラストが変るのみなのだという説迄現われて、混沌としている。

5. おわりに

宇宙航空研究所で開かれた「月・惑星シンポジウム」の際、若手会での講演を、東大の木田さんから依頼されて、引受けはしたものの、意向に沿ったような解説になったかどうか心懸りの点が多い。日々、新しい情報、論文が出つつある分野で、ここに書いたものが確定的なものではないし、全く最新の結果というものではない事という迄もない。骨子を解説したと思って頂ければ良いと思う。ダストの熱的な問題、ダストストーム、slope wind に関して続々と論文が出つつあり、ここでは触れてないが、上層大気的光化学的な問題でもかなり研究が進んでいる。惑星大気的光化学の方面に興味のある方は、東大宇宙研の清水幹夫氏に聞いて頂きたい。

最後に、火星大気について review する機会を与えて下さった木田さん始め 気象若手会の方々 に感謝したい。又、図を毎晩遅く迄書いてくれた、千葉工業大学の花沢孝雄君にも感謝の意を表したい。

文 献

Blumsack, S.L., 1971: On the effects of topography on planetary atmospheric circulation. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 1134-1143.
 —, P.J. Gierasch and R. Wessel, 1973: An analytical and numerical study of the Martian planetary boundary layer over slopes. *J. Atmos. Sci.*, **30**, 66-82.
 Capen, C.F. and V.W. Capen, 1970: Martian North Polar Cap, 1962-68. *Icarus*, **13**, 100-108.

Gierasch, P.J., 1970: The fourth Arizona conference on planetary atmospheres: Motions of planetary atmospheres. *Earth Extraterres. Sci.*, **1**, 171-184.
 —, 1971: Dissipation in atmospheres: The thermal structure of the Martian lower atmosphere with and without viscous dissipation. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 315-324.
 — and R.M. Goody, 1968: A study of the thermal and dynamical structure of the Martian lower atmosphere. *Planet. Space Sci.*, **16**, 615-646.
 — and —, 1972: The effect of dust on the temperature of the Martian atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **29**, 400-402.
 — and —, 1973: A model of a Martian great dust storm. *J. Atmos. Sci.*, **30**, 169-179.
 — and C. Sagan, 1971: A preliminary assessment of Martian wind regimes. *Icarus*, **14**, 312-318.
 Goody, R.M. and M.J.S. Belton, 1967: Radiative relaxation times for Mars: a discussion of Martian atmospheric dynamics. *Planet. Space Sci.*, **15**, 247-256.
 Hanel, R., B. Conrath, W. Hovis, V. Kunde, P. Lowman, W. Maguire, J. Pearl, J. Pirraglia, C. Prabhakara, B. Schlachman, G. Levin, P. Straat and T. Burke, 1972: Investigation of the Martian environment by infrared spectroscopy on Mariner 9. *Icarus*, **17**, 423-442.
 Kliore, A.J., D.L. Cain, G. Fjeldbo and B.L. Seidel, M.J. Sykes and S.I. Rasool, 1972: The atmosphere of Mars from Mariner 9 radio occultation measurements. *Icarus*, **17**, 484-516.
 Leighton, R.B. and B.C. Murray, 1966: Behavior of carbon dioxide and other volatiles on Mars. *Science*, **153**, 136-144.
 Leovy, C.B., G.A. Briggs, A.T. Young, B.A. Smith, J.B. Pollack, E.N. Shipley and R.L. Wildey, 1972: The Martian atmosphere: Mariner 9 television experiment progress report. *Icarus*, **17**, 373-393.
 — and Y. Mintz, 1969: Numerical simulation of the atmospheric circulation and climate of Mars. *J. Atmos. Sci.*, **26**, 1167-1190.
 Masursky, H., R.M. Batson, J.F. McCauley, L.A. Soderblom, R.L. Wildey, M.H. Carr, D.J. Milton, D.E. Wilhelms, B.A. Smith, T.B. Kirby, J.C. Robinson, C.B. Leovy, G.A. Briggs, T.C. Duxbury, C.H. Action, Jr., A.T. Young, B.C. Murray, J.A. Cutts, R.P. Sharp, S.A. Smith, R.B. Leighton, C. Sagan, J. Veverka, M. Noland, J. Lederberg, E. Levinthal, J.B. Pollack,

- J.T. Moore, Jr., W.K. Hartmann, E.N. Shipley, G. DeVaucouleurs, and M.E. Davies, 1972: Mariner 9 television reconnaissance of Mars and its satellites: preliminary results. *Science*, **175**, 294-304.
- Miyamoto, S., 1957: The great yellow cloud and the atmosphere of Mars. Report of visual observations during the 1956 opposition. *Contr. Inst. Astrophys. Kwasan Obs., Univ. Kyoto*, No. 71.
- , 1966: Martian atmosphere and crust. *Icarus*, **5**, 360-374.
- and A. Hattori, 1968: Polar Cap of Mars. *Icarus*, **9**, 440-445.
- Moriyama, S., 1972: Numerical experiment of radiative-convective equilibrium of the Martian atmosphere. *J. Meteor. Soc. Japan*, **50**, 181-193.
- , 1973: The dynamical effects of real Mars orography upon the large-scale air flow and some meteorological phenomena of Mars. *J. Meteor. Soc. Japan*, **51**, 73-85.
- Ohring, G., 1966: *Weather on the planets*. Anchor Books, Doubleday & Company, Inc. Garden city, New York.
- and J. Mariano, 1968: Seasonal and latitudinal variations of the average surface temperature and vertical temperature profile on Mars. *J. Atmos. Sci.*, **25**, 673-681.
- Pettengill, G.H., C.C. Counselman, L.P. Rainville and I.I. Shapiro, 1969: Rader measurements of Martian topography. *Astron. J.*, **74**, 461-482.
- Prabhakara, C. and J.S. Hogan, Jr., 1965: Ozone and carbone dioxide heating in the Martian atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **22**, 97-109.
- Rasool, S.I., J.S. Hogan, R.W. Stewart and L.H. Russel, 1970: Temperature distributions in the lower atmosphere of Mars from Mariner 6 and 7 radio occultation data. *J. Atmos. Sci.*, **27**, 841-843.
- Rogers, A.E.E., M.E. Ash, C.C. Counselman and I.I. Shapiro, 1970: Rader measurements of the surface topography and roughness of Mars. *Radio Sci.*, **5**, 465-473.
- Sagan, C. and J.B. Pollack, 1969: Wind blown dust on Mars. *Nature*, **223**, 791-794.
- , J. Veverka and P. Gierasch, 1971: Observational consequences of the Martian wind regimes. *Icarus*, **15**, 253-278.
- Slipher, E.C., 1962: *Mars, a photographic history 1905-1961*. U.S. Air Force.
- The atmospheres of Mars and Venus*. (W.W. Kellogg and C. Sagan, eds.), 1961: *Natl. Acad. Sci. Nat. Res. Council, U.S. Publ.* 944.
- Thompson, D.T., 1973: Time variation of Martian regional contrasts. *Icarus*, **20**, 42-47.

惑星大気と地質時代の気象* (講演 2)

駒 林 誠**

地球以外の惑星の大気を研究することは、直接的な観測を充分に行なうことができない点で、未知の世界を探るたのしきがある。惑星大気を研究する第一の分野は、惑星大気の実態そのものを明らかにすることを目的にしてつくられている。一方、地球を惑星の一つとして考えた場合に、過去の地質時代の気象については、その時間の遠さに応じて、金星、火星、木星、土星などの大気が秘めている未知の魅力と同質の学問的な魅力をそなえていると言ふことができよう。空間的に近い金星や火星については、複数の探査機を送り込んでかなり詳しい観測をすることができて、そのデータに基づいて具体

的な問題を解明することができる。それと同じように、時間的に近い第四紀の氷河について、また第三紀から第四紀の移行については、かなり詳しい観察をすることができて、そのデータに基づいて具体的に氷河の消長や生物の種族の交替を考察することができるようである。

現在の地球上で環境の変化に応じて植物、森林、昆虫、動物が入れ替わる様子を調べることができるように、第三紀から第四紀の移行で、化石が少しづつ入れ替って行く詳細な様子を、すなわち第三紀から第四紀への変化そのものの微細構造を明らかにしようとする研究がある (Tappan 1968)。木星、土星、天王星について、遠くなるほど詳しいことがわからないがそれなりに未知の魅力が増大するように、地球の過去についても、遠くへさかのぼるほど細かいことはわからなくなる反面で、

* Planetary Atmosphere and Weather of Geologic Time

** M. Komabayasi 気象大学校
—1973年12月24日受理—