

第II輯 第56巻 第5号 1978年11月

中村 一：大気大循環に及ぼす山岳の力学効果

I. 山岳を表現するのに適した差分スキームの開発

——：大気大循環に及ぼす山岳の力学効果

II. 順圧ジェットに対する山岳の障壁効果

——：大気大循環に及ぼす山岳の力学効果

II. 傾圧大気の大循環に対する山岳の効果

大河内康正・瓜生道也・沢田龍吉：海陸風に及ぼす山岳効果に関する数値的研究

吉崎正憲：シア一流中における雲底が高い対流雲の数値実験

後町幸雄：層状雲による山岳性の大雨の数値実験

浅井富雄・中村晃三：暖かい海上における気団変質過程の数値実験

I. 対流混合層の発達

岸保勲三郎：冬期 500mb 面における超長波の特性について

森 信成：北半球温度場の最近の傾向

V.E. Kousky : P.S.Chu ブラジル北東部における年雨量の変動

岸保勲三郎：大気境界層における閉じた乱流モデルに関する覚書

播磨屋敏生・孫野長治・足立俊三・穂積邦彦：雲の写真観測による cloud mass flux の算定

志尾 彌：単結晶氷の摩擦電気

岡田菊夫・石坂 隆・増沢敏行・磯野謙治：沿岸大気中に浮遊するエアロゾルの塩素不足について

青木忠生：上・下限を指数関数で変形された S^{-1} 形の線強度分布をもつ吸収帯に対する半直接的統計模型

林 正康・横山長之・小堀泰宏：ドップラソードによる低層大気中の鉛直速度の測定

ノート

R.L. Ditter：薄い氷板による riming の静電気力の影響

大気大循環に及ぼす山岳の力学効果

I. 山岳を表現するのに適した差分スキームの開発

中村 一（東京大学理学部地球物理学教室）

大気大循環モデルや数値予報モデルに山岳の効果を取り入れるのに適したスキームを探すため、 σ -座標系における鉛直差分と気圧傾度項についての種々の差分スキームを Arakawa (1972), Corby *et al.* (1972) と Phillips (1974) の議論を拡張し調べ直した。その結果、今まで提案された種々のスキームは、エネルギー保存、温位とその二乗の保存、地表面におけるトルクに関する積分条件を満足するかどうかによって系統的に分類できた。

これらのスキームについて、山岳を入れた場合の静力学の式、気圧傾度項と移流項の差分誤差を簡単な静止大

気について調べた。いくつかのスキームでは傾斜の急な山の上での誤差はかなり小さい事が分かった。たとえば、傾斜が $4 \text{ km}/300 \text{ km}$ の場合、運動方程式の気圧傾度項と水平・鉛直移流項の誤差は、 $\Delta x = 300 \text{ km}$ の時わずか 1 m/s の地衡風にしか相当しなかった。

次に、チベット高原状の山を西風ジェットの中に置くという、より現実的な場合について誤差を検討した。大気は鉛直安定成層をなし、西風には鉛直シアのない平衡状態に戻すような強制力を働かせた。異なった分解能と差分スキームを持つモデルの結果を、12層、 $\Delta x = 2.5^\circ$ の高分解能モデルの結果と比較した。 $\Delta x = 5^\circ$ のモデルの結果は高分解能モデルとは若干異なった。山の上では風速の差が 10 m/s にも達した。しかし、他の領域では

差は非常に小さかった。スキームによる違いは水平格子間隔による差に比べてかなり小さかった。鉛直分解能の影響はバロトロピック的な設定のため非常に小さく、6層でも12層と差はなかった。以上の結果から、山の差分誤差は以前から考えられていた程大きくない事が分かった。

大気大循環に及ぼす山岳の力学効果

II. 傾圧ジェットに対する山岳の障壁効果

中村 一 (東京大学理学部地球物理学教室)

第I部で開発した数値モデルを用いて西風ジェットに対する山岳の力学効果を調べた。ジェットが鉛直シアを持たず、また一定の温度減率を持つ成層大気をモデル大気の平衡状態と考える。そして、この状態に引き戻すような強制力を大気に与える。この西風の大気の中にチベット高原に相当する大きさと高さを持つ三つの理想化した台形の山を置いた。それぞれ4 km/20°の緩い傾斜の側面、4 km/5°の急な傾斜の側面、そして鉛直の壁というように異なった傾斜の側面を持つ。

山が流れをブロックする効果と斜面上での渦管の伸縮効果(β効果と共にプラネタリー波を作る)の現われ方は、山の傾斜によって異なった。ブロッキング効果は鉛直の壁の山が最も強く、緩い傾斜の山は最も弱かった。逆に、下流にできる定常性トラフは緩い傾斜の山が最も強く、鉛直の壁の山が最も弱かった。急な傾斜の山の効果は両者の中間であった。さらに、テイラー・コラム的な効果が偏西風のブロッキングに重要な役割を果たしている事が分かった。

同じ傾圧ジェット・モデルでチベット高原によるジェットの分流を調べた。ジェットが山の南縁を通る時と真中に当たる時には、ジェットは山の南北に分流するが、山の北縁を過ぎる時は南側の分流は非常に弱かった。この結果は、実際に観測されたジェットのパターンの季節変動と定性的に良く合う。

大気大循環に及ぼす山岳の力学効果

III. 傾圧大気の大循環に対する山岳の効果

中村 一 (東京大学理学部地球物理学教室)

観測から求めた単純化した非断熱項と Newtonian cooling と $6.5^\circ\text{K}/\text{km}$ の対流調節を先に開発した数値モデルに入れて、約150日積分し傾圧大気に対するチベット高原型の山の力学効果を調べた。nonlinear viscosity 鉛直渦粘性の効果も含まれている。

山のないモデルでは、中緯度の偏西風、熱帯の偏東風、三細胞子午循環など現実大気と良く似た大循環の

特徴が再現できた。傾圧不安定波も良く発達した。しかし、 25° 付近にある非断熱項の強い南北傾度に対応して、亜熱帯ジェットが南に片寄り強くなり過ぎた事、傾圧波がやや高緯度に現われる事などの欠点があった。

山を入れた場合、これらの大きな特徴はあまり変化しなかった。最も顕著な変化は、山のないモデルでは 30° 付近にあった亜熱帯高圧帯が、山の入ったモデルでは 45° 付近にまで北上した事である。亜熱帯の平均子午面下降流域も北に拡大した。これは、山のブロッキング効果によって減速された偏西風に地衡風バランスするため、大気が北に移動したためと解釈できる。この現象はユーラシア大陸上で乾燥地帯が北上している事実の理由の一つとして考えられそうである。また、シベリア高気圧の形成にも関係しているかも知れない。山の緯度では西風ジェットが弱かったため、定常プラネタリー波はあまり励起されなかった。また、傾圧不安定波の振舞いに対する山の影響もこの実験でははっきり見られなかった。

さらに、東西方向に擾乱を禁じた解(Zonally symmetric circulation)を求めた。現実大気とは非常に異なっている。Hunt (1973) の同様の解とも非常に異なっており、その一因として水平の nonlinear viscosity のスキームの差が考えられる事が分かった。

海陸風に及ぼす山岳効果に関する数値的研究

大河内康正・瓜生道也・沢田龍吉

(九州大学理学部地球物理学教室)

海陸風に対する、山岳の熱的および力学的効果を、海陸風の成長と衰弱およびその広がり注目して数値実験を行なった。

海岸線と山脈に垂直な面内の二次元モデルを用い、計算領域は水平130km、鉛直3 kmにとった。山岳としては、単純な台形の断面をもつ幅8 km、高さ450mのものを、海岸線より18kmの内陸にとった。

山岳の力学的・熱的效果を見積もるために、数値実験は、次の三つの場合を考えた。

case (a) 山岳がない場合

case (b) 山岳の表面が断熱の場合(断熱山岳)

case (c) 山岳の表面の温位が日変化する場合(加熱山岳)

主な結論は、次のようにまとめられる。

(1) 海風は、加熱山岳の場合には山岳を越えて内陸へ侵入しないが、断熱山岳の場合には、山のない場合に期待されるものより内陸へ早く、深く侵入する。

(2) 陸風は、加熱山岳の場合には強められる。これ

は、山岳斜面に沿う下降流のせいである。断熱山岳の場合には、この下降流は発達せず、山岳がない場合より弱まる。

(3) 海陸表面の最大温度差とそれによって引き起こされる運動との間の位相差は、山岳が存在する場合には、山岳表面の熱的境界条件にかかわらず減少する。

シア一流中における雲底が高い対流雲の数値実験

吉崎正憲（東京大学海洋研究所）

力学過程と雲物理過程を含んだ数値モデルを用いて、アメリカでよく見られる雷雲の次の点について考察した。(1) 地上で見られる寒気ドームや収束線の生成 (2) 上昇流がアップシアに傾く点 (3) 対流活動が長時間持続する機構 (4) 対流雲の動きの一般風からのずれ (5) 垂直に軸をもつ渦の生成 等である。ここでは二次元と三次元のモデルを使って四つのケースを計算した。その結果、(1) に関しては雲底下で起こる雨滴の蒸発による冷却のためである。(2)~(4) に関しては、風のシアが高さと共に変わる風の場でシミュレートできた。この場合、ジェットプロフィールが重要な役割を果たしている。(5) に関しては、最初は立ち上がり項が重要であるが、その後は垂直移流項、発散項、立ち上がり項の三つの項が効く事が分かった。中層では正の渦度と負の渦度が雨域に対になって見られた。

層状雲による山岳性の大雨の数値実験

後町幸雄（京都大学防災研究所）

われわれの最近10年間の鈴鹿山脈周辺における降雨の研究によれば、最大日雨量が200mm以上に達するような大雨は、通常台風に関連して発生し、大雨域は峰の直ぐ西側（風下側）に、山脈沿いにある。そのような場合には、対流圏下層に山脈を横切る強い南東風があり、対流圏の中層および下層は飽和状態に近く、しかも安定度は対流不安定かほぼ中立である。それらの中に、安定度がほぼ中立で、雨量強度の時間変化が比較的少なく、レーダ観測でも対流性の降雨帯が見られない場合がいくつかあった。このような場合を層状雲による山岳降雨と仮定して、そのモデルを作ることを目的として数値実験を行なった。

第一のモデルは次の通りである。鈴鹿山脈程度の規模の単純化した山脈を考え、偽断熱減率の飽和大気を仮定し、対流圏下層に山脈を横切る強風のある基本流に対する定常な山越気流を、線型方程式に基づいて求める。降雨生成は暖かい雨の過程によるとする。その気流の上昇域で凝結した liquid water の一部は、ある粒径分布の

雲粒となり、残りの一部は水滴を成長させるのに用いられる。この雲の中で水滴は衝突併合過程によって成長し、気流の下降域では蒸発が起こり、水滴のあるものは雨として地上に達する。これらの過程の定常状態を近似的に求めた。その結果は、山頂付近にわずかに1 mm/hr程度の降雨があるだけで、雨量分布は観測されたものとはかなり異なっていた。

そこで第二のモデルとして、第一のモデルに加えて、この領域の上方の雲から、種まきの作用をもつ様な弱い雨を降らせた場合について同様な計算を行なった。第二のモデルの場合には、結果は実際のものにかなり近くなった。このことから、上方の雲から降る数 mm/hr程度の雨の山岳性の大雨に果たす作用の重要性が分かる。また、実際に山脈を横切る下層の強風の上方で風速の弱まり方が小さい程、大雨域は風下側へ寄り、風下側の雨量も大きくなる傾向があるが、数値実験からも同様な関係が得られた。

さらに、数値実験の結果から、山頂付近の雨量分布が、上方の雲から一様に降る雨滴の粒径分布と雲粒の number density によってかなり変わることが分かった。すなわち、上方の雲から降る雨滴が小さい程、山頂付近の雨量は大きくなるが、最初に発生する雲粒は大きい程、したがってその雲粒の number density が小さい程、その雨量は大きくなる。雲粒の number density が約100個/cm³を越せば、山頂付近の雨量はかなり少なくなる。

暖かい海上における気団変質過程の数値実験

I. 対流混合層の発達

浅井富雄・中村晃三（東京大学海洋研究所）

対流混合層の発達過程を、一般風に平行な軸を持つロール状対流を扱う二次元モデルを用いて数値的に調べた。対流性の雲を伴う湿潤な混合層は、以下にあげる多層構造を形成する。その構造は、下層から順に、(1) 超断熱層 (2) 温位は高度によらず一様であり、比湿は高度とともにやや減少する雲底下層 (3) 高度とともに温位は少しずつ増大し、比湿は少しずつ減少するという鉛直分布を示し、熱収支においては、水蒸気の凝結による加熱が支配的である雲層の下半部 (4) 高度に伴う温位の増大と比湿の減少が急激であり、雲水の蒸発による冷却が、対流に伴う顕熱輸送の収束による加熱を上回る雲層の上半部 (5) 最も高いところにある下方から浸食された安定層 である。対流混合層の深さが、深くなることに対して、対流性の雲が、効果的な役割を果たすこと

が指摘された。

冬期500mb 面における超長波の特性について

岸保勤三郎 (東京大学地球物理学教室)

冬期 500mb 面における超長波のデータを用いて、周波数領域でのスペクトル強度を求めてみた。その結果によれば、東西波数 $k=1\sim 3$ のスペクトル強度は近似的に周波数の二乗に逆比例することが分かった。この解釈として、超長波の振幅の日々の変動を定常なランダム過程として取り扱い、その特性を調べた。超長波と傾圧波との特性の差を明らかにするために、東西波数 $k=6$ の傾圧波のスペクトル強度も求めてみた。

この場合には、数日の周期のところにはスペクトル強度の最大値が得られた。

北半球温度場の最近の傾向

森 信成 (気象研究所*)

資料は、下層大気については1950年～1974年の25年間の地上気圧と 500mb 高度を、上層大気については1956年～1975年の20年間の 500 ミリバールと 1000mb の高度を用いた。北半球 30° 以北の緯度経度 10° ごとの格子点に与えられた月平均値から、それぞれのシクネス換算の年平均気温を算出した。

変化傾向を求めるには、つぎの方法に従った。与えられた時系列をチェビシェフの直交多項式に展開して、分散分析法による適合度検定から採用されるべき項数を決定した。この場合、適合度の危険率を5%にとった。その後で一般形に変換された多項式をもって変化傾向の式と定義した。

まず、それぞれの期間の時間平均場を考案した。下層大気では寒気の中心は西半球側のカナダ北方にあり、等温線はよく見なれた極を取り巻く同心円型をしていたが、上層大気では寒気の中心は東半球側の中央シベリア北部にあり、等温線は東半球のみに密集し、西半球側にはほとんど温度傾度は見られなかった。帯状平均温度の変化傾向の型から大まかに三つの緯度帯に分けられた。 80°N は上層大気では線型下降、下層では線型上昇を示した。 50°N 以南の上層大気では三次曲線、下層では二次曲線で表わされ、最近では両者相反する傾向になってきている。上記の非常に顕著な変化傾向をもつ緯度帯にはさまれながら、 60°N と 70°N の傾向は上層、下層大気ともきわめてゆるやかな下降傾向を示し、特異な緯度帯であるように見える。南北温度傾度の変化傾向は、上

層大気では増大傾向、下層では減少傾向を示した。さきの時間平均場での比較から、上層の南北温度傾度は下層の約 $1/6$ であったが、上層では南北温度差は拡大し、下層では縮少してきたことが分かる。また、面積平均された温度の変化傾向は面積率の大きい中低緯度の変化傾向に左右されるが、今回の場合、南北温度傾度の傾向は面積率はたとえ小さくとも、高緯度の温度変化が大きく影響していることが知られた。東西温度傾度については、下層大気ではどの緯度も概して減少傾向、すなわち緯度圏に沿った温度場の振幅は減衰してきたことを示し、上層では緯度について多様な変化をしており、一概には言うことができない。南北温度傾度、東西温度傾度については、エネルギー論的な立場からの考察も試みた。

要約すると、下層大気の場合は全体的には下降傾向で、温度場は南北・東西方向ともに平滑になるように変化し、反対に上層大気では温度は全体的に上昇傾向で、温度場は南北・東西方向ともに傾斜が強くなってきたと言える。

ブラジル北東部における年雨量の変動

V.M. Kousky (Instituto de Pesquisas Espaciais, Brasil) P.S. Chu (Instituto Astronomico e Geofisico, Brasil)

ブラジル北東部の 229 地点について、年雨量の変動をいくつかの統計方法によって解析した。140 地点について“Parzen lag window”を使用してスペクトル密度を計算した。スペクトルピークは、2～3年、3～5年および10～20年の三つの周期帯に出現した。この短周期帯のスペクトルピークについてその地理的分布を解析し考察を加えた。

ローパスフィルターをほどこした時系列データと“Mann-Kendall rank statistic”を使用し、トレンド解析を行なった。また、各年の年雨量の年比(30年(1931年～196年)平均値に対する年雨量の%)の分布を調べ、年降水量の変動度の地理的分布を記述した。

大気境界層における閉じた乱流モデルに関する覚書

岸保勤三郎 (東京大学理学部地球物理学教室)

大気境界層における閉じた乱流モデルについて吟味した。この場合、乱流は統計的平均では定常とし、また、乱流の Reynolds ストレスおよび熱フラックスの方程式では移流項と拡散項を無視した。閉じた系を作るために、ある定数の導入が必要であるが、これらは風洞実験により得られた値を用いた。このようにして得られた閉じた乱流モデルの有効性を吟味するために、フラックス

* 現在気象庁

一定層の観測結果との比較を行なった。さらに、大気境界層への応用を考え、そのために、運動量および熱拡散係数の定式化を行なった。この場合に、 $l=l(z)$ (z :高度) という長さのパラメータを導入する必要があり、 l の形として観測結果と合うようなパラメータ化を行なった。

雲の写真観測による cloud mass flux の算定

播磨屋敏生・孫野長治・足立俊三*・穂積邦彦

(北海道大学理学部地球物理学教室)

AMTEX'75 の期間中、宮古島で地上からの雲のステレオ写真観測と、東京-マニラ間の定期旅客機からの雲の航空写真観測が行なわれた。地上のステレオ写真観測から雲内の上昇流を求め、航空写真観測と気象衛星雲写真から acv tie cloud area を求める。これらの測定値から直接的に cloud mass flux を算定する方法が述べられる。

解析結果によると、AMTEX'75 期間中の2月20日に解析領域 ($4.6 \times 10^4 \text{ km}^2$) 上で平均的には下降流にもかかわらず、雲域には上向き mass flux がある。

単結晶氷の摩擦電気

志尾 彌 (北海道教育大学岩見沢分校物理教室)

氷の表面の結晶的性質が、いかに氷の摩擦電気現象に影響を与えるかを実験的に調べた。その結果、つぎのような、Latham *et al.* や Jaccard の理論だけでは説明できない新しい現象が見出された。

(1) 結晶軸の異なった面同志を不均等に摩擦することにより接触面間に温度差を作る時、側面をした摩擦面は基底面に対して、温度差に無関係に正に帯電した。また、室温約 -6°C で電位は極端に減少した。同じ結晶面同志の不均等摩擦では、寒冷側の電位は、温暖側に対して室温約 -6°C より低温では正に高温では負になった。この現象は、結晶粒の直径が約5mmで試料の表面で多数の結晶粒が側面をしている多結晶氷を試料にした先の実験 (Magono・Shio, 1966) 結果と定性的に同じであった。

(2) 室温 -6°C 付近を除外して、電位の絶対値は約3Vでこれは理論値の約200倍であった。

以上のことから、電位の符号は二つの摩擦面間の硬度差によって支配され、温度差は二次的因子と考えられる。定性的に硬度は、転位密度、転位速度、空洞、再結晶現象に関わり合いがあるのでこれらのものを摩擦電気現象の因子と考えて説明を試みた。

* 現在日本気象協会北海道本部

沿岸大気中に浮遊するエアロゾルの塩素不足について

岡田菊夫・石坂 隆・増沢敏行・磯野謙治
(名古屋大学水圏科学研究所)

1975年10月、尾鷲において採集された大気中のガス状塩素とエアロゾルの水溶性成分の分析を行なった。その結果、ガス状塩素濃度は $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また、エアロゾル中の Cl/Na 比は、海水比に比べ常に低くその平均値は0.67であった。この値をもとにして算出された塩素の不足量は $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、これは海塩として存在すると考えられる塩素の61%にあたる。エアロゾル中の塩素の不足量は、 $(2(\text{SO}_4)_{\text{ex}} + \text{NO}_3 - \text{NH}_4)$ の濃度と対応していたことから、塩素の不足量は、主に海塩粒子と、 SO_2 , NO_2 などから形成されたと考えられる H_2SO_4 および HNO_3 との反応によることが示唆される。

エアロゾル中の塩素の不足量と大気中のガス状塩素濃度の対応から、尾鷲の大気中におけるガス状塩素のかなりの量が、海塩粒子から放出されたものであることが示唆された。

上・下限を指数関数で変形された S^{-1} 形の線強度分布をもつ吸収帯に対する半直接的統計模型

青木忠生 (気象衛星センター)

上・下限を指数関数で変形された S^{-1} 形の線強度分布をもつ吸収帯に、最近著者が開発した半直接的統計模型を適用した。このモデルおよびこれまで開発したモデルも含め、計六つのモデルの精度を、 H_2O の回転帯と CO_2 の15ミクロン帯について調べた。モデルの精度は、モデルを適用する波数区間の幅に依存することが示されている。最もよい精度のものは半直接的準統計模型であったが、指数関数形の線強度分布に対する半直接的統計模型も、現在における吸収線の強度や半幅値の理論値の精度から考えると、十分な精度を与えることが分かった。

ドップラ・ソーダによる低層大気中の鉛直速度の測定

林 正康・横山長之 (通産省公害資源研究所)

小堀泰宏 (海上電機(株))

ドップラ解析器付のモノスタック音波探査装置を開発した。反射音の一定波数の時間を、送信音の周波数を基準として計測することにより、上空の鉛直速度を測定する。システムの出力 (エコー強度と鉛直速度) を電算機処理することにより、ファクシミリ記録より明瞭な高度-時間分布図が得られる。音波探査装置の付近で昇降させた気球のエコーから、鉛直速度を校正した。熱的ブルームが発生している場合の鉛直速度分布の例を示した。