

- Barnes, G.M., and K. Sieckman, 1984: The environment of the fast-and slow-moving tropical mesoscale convective cloud lines. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1782-1794.
- Bleck, R.A., and J. Hallett, 1986: observations of the distribution of ice in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, 43, 802-822.
- Bluestein, H.B., and H.M. Jain, 1985: Formation of mesoscale lines of precipitation: severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, 42, 1711-1732.
- Browning, K.A., 1977: The structure and mechanisms of hailstorms. *Meteor. Mon.* 16, No. 38, 1-43.
- Churchill, D.D., and R.A. Houze, Jr., 1984 :Development and structure of winter monsoon cloud clusters on 10 December 1978. *J. Atmos. Sci.*, 41, 933-960.
- Emanuel, K.A., 1986: Some dynamical aspects of precipitating convection. *J. Atmos. Sci.*, 43, 2183-2198.
- Hallett, J., and S.C. Mossop, 1974: Production of secondary ice particles during the riming process. *Nature*, 249, 26-28.
- Hobbs, P.V., 1978: Organization and structure of clouds and precipitation on the mesoscale and microscale in cyclonic storms. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 16, 741-755.
- Houze, R.A., Jr., S.G. Geotis, F.D. Marks, Jr., and A.K. West, 1981: Winter monsoon convection in the vicinity of north Borneo. Part 1: structure and time variation of the clouds and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 1595-1614.
- , —, and A.K. Betts, 1981: Convection in GATE. *Rev. of Geophys and Space Phys.*, 19: 541-576.
- Liou, K-N., and Q. Zheng, 1984: A numerical experiment on the interactions of radiation, clouds and dynamic processes in a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 41, 1513-1535.
- 松本誠一, 二宮洗三, 1967: 集中豪雨に関連する問題点—中規模擾乱と積雲対流, 気象研究所予報研究部.
- Newton, C.W., 1967: Severe convective storms. *Advances in Geophysics*, 12, 257-308.
- Ogura, Y., and M.-T. Liou, 1980: The structure of a midlatitude squall line: a case study. *J. Atmos. Sci.*, 37, 553-567.
- Ramanathan, V.E., E.J. Pitcher, R.C. Malone and M.L. Blackmon, 1983: The response of spectral general circulation model to refinements in radiative processes. *J. Atmos. Sci.*, 40, 605-630.
- Rotunno, R., and J. Klemp, 1985: On the rotation and propagation of simulated supercell thunderstorms. *J. Atmos. Sci.*, 42, 271-292.
- Slingo, J.M., 1987: The development and verification of a cloud prediction scheme for the ECMWF model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 113, 899-927.
- 高橋 勲, 1987: 雲の物理, 東京堂.
- Takahashi, T., 1988: Long lasting trade-wind rain showers in a three-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, 45: 3333-3353.
- , —, K. Yoneyama and Y. Tsubota, 1989: Rain duration in Hawaiian trade wind rainbands-aircraft observation. in press, *J. Atmos. Sci.* 46, 937-955
- Wesman, M.L., J.B. Klemp and R. Rotunno, 1988: structure and evolution of numerically simulated squall lines. *J. Atmos. Sci.*, 45, 1990-2013.
- Werherald, R.T., and S. Manabe, 1980: Cloud cover and climate sensitivity. *J. Atmos. Sci.*, 37, 1485-1510.

討論と総合討論

討論

田中氏に対して

山中 (山口大・教育): 雲を衛星で観測する場合の観測方法というものは、現段階で完成されているとお考え

でしょうか。

田中: 衛星で観測する場合, 一つは, 普通の衛星で用いられ, また ISCCP で使われているような狭視野・走査型の多波長放射計で, 雲量とか雲頂高度などを求める

試みがなされています。そのためアルゴリズムが十種類くらい考えられていますが、まだこれという最終的なものはできていません。もう一つは、ERB (earth radiation budget) 衛星などの、もっと広視角・広波長域の常時検定しているような放射計を用いて、雲の放射特性をエネルギー的にきちんと押えることが試みられています。こちらのデータはだんだん信頼できるようになってきています。両者を合わせてより定量的な雲情報を得る可能性があります。

時岡氏に対して

木村 (東大・海洋研) : 熱帯海洋上の雲量が少ないというお話に関連して、かなと云の扱い方についてご質問したいんですが、衛星写真を見ておきますと吹き出しの雲が非常に目につくわけです。吹き出しの雲というのは周りの場が湿っているから雲ができるというよりは、周りがいかに乾いていても積雲のところはもともと湿っているんで、それが乾いた場にペネトレイトしていくような形で雲が広がっているのではないかというようなイメージを持っているんですが、それは GCM では表現されているのでしょうか。

時岡 : モデルによってその扱いはそれぞればらばらだと思います。われわれのところではどうしているかということをお話します。われわれのところでは 400 mb 高度より上に達する積雲があった場合、到達レベルで cloud mass flux は全部周囲にディストリビューットするとし、そのときになんと云を作ってグリッドを全部埋め尽くすという扱いをしております。そのかなと云は、次の雲を診断する段階でまたゼロからやり直す。実際は1時間以上、数時間にわたって続くということが観測されている。そういう効果が大事だということを言っている人も聞いております。

桑形 (東北大・理) : 陸上で雲の日変化がうまく再現されない主要な原因はどのようにお考えでしょうか。

時岡 : 背の高い積雲に関しては雲量をちゃんとカウントしているわけです。それでちゃんと日変化ができていないのはショックだったわけですが、まだよく検討しておりません。背の低い雲を入れれば日変化がちゃんと出るようになるのかどうか、つまり、雨はあれだけちゃんと日変化しているんで、あの雨がどの雲から降っているのかをチェックすればいいんですが、まだやっております。

せんので大至急やるつもりでおります。最後のところで、低緯度の雲量のカウントが少ないという関連でいくつかポイントを挙げました。こういうことをひとつひとつチェックすれば、低緯度の雲量が少なすぎるものと雲量の日変化が不十分であることとは密接に絡んでいることがわかるのではないかと思います。

高橋氏に対して

山中 : 同じところにカリマンタンにいたんですけれども、カリマンタンの積雲だと雷が見えるんです。だから、高橋さんの言われるようなタイプの雲といわゆる雷のできる雲の境目みたいなものがどこかにあるんです。同じ赤道の真上に……

高橋 : モンスーンの通路かどうかによるのではないかという気がするんですけれども……

山中 : そうすると ITCZ とそれ以外の雲で種類が違うということですか。

高橋 : ITCZ のマイクロネシアの雲と、同じ ITCZ ですけれどもモンスーンの通るところとで違うんじゃないかという気がするんです。

山中 : 見かけは全く同じように見えますが……

高橋 : よく似ています。けれども雷が本当にならないんです。アメリカでもそれに気が付いてなぜかということでもやろうとしていたみたいです。僕らがやっていたんでカッカしていました。

加藤 (名大・水圏研) : いろいろレインバンドとしては面白い話だったんですけど、雲と放射という立場で考えた場合にメソ擾乱系の雲の特徴の、どういう部分が特に熱帯方面の放射を理解する上で重要だと考えられますか。

高橋 : 2つあると思います。まず、レインバンドから大きなかなと云・上層雲ができますので、それが一つの問題です。それからやはり一度できると次のタイムステップで消えるんじゃないでややはり寿命があるんです。それは入れて行かなければいけない。それから降水を考えるとときに放射をちゃんと入れなければいけないんじゃないかと思います。また、かなと云が水雲の中にあるのか、雪がどれだけあるのかということが放射そのものに大きく効いております。それがまた降水にはね返ってきているわけですので、そういう意味で重要だと思います。

総合討論

早坂（東北大・理）：時岡さんにお伺いしたいんですが、雲の判定基準ということについてお伺いしたいんですが、モデルで作った雲と観測とでなかなか合わないということもあって大変だというお話だったんですが、ECMWFのデータセットから雲を作って、それとヨーロッパ中緯度で衛星の観測から見積った雲量と比べると、やはりGCMに入れる場合のパラメタリゼーションのところでもかなり低層の方が合わないという論文が最近出ているんですが、合わない合わないといっている割には判定基準がかなりシンプルといいますが、ほとんど相対湿度をパラメータとした非常に簡単な形に入っているんですが、大循環ではほかに計算時間がかかって大変なんでしょうが、何かやりようがないのかという気がするんですが。

時岡：それはいろいろあると思います。大循環で扱うgrid scaleというのは、だいたい水平方向には百kmから数百kmくらい、鉛直方向には数kmというのがモデルの解像度です。問題は雲が層状の雲か積雲系の雲かで違います。層状の雲ですとベタッと出る場合でも今度は上下方向にsub-grid scaleである。積雲系は水平方向にsub-grid scaleで、そういう雲をlarge scaleの量からどういうふうに診断するか、現在多くのモデルが採っている診断方法から決めるという立場で表現しています。どういうふうにそれを決めるかということ、そここのところの研究というか、こうやればいいんだという研究がないということ、それぞれまあこの程度でいいだろうという程度のことでとりあえずやっているわけです。それを本当はどの程度やらなければいけないかということが問題です。短長期予報にとっては、だいたい雲が出るようなところに雲が出ればいいということであるかと思えます。気候をちゃんとシミュレートしようと思えば、雲と地表面のinteractionを通して気候が決まってくる。そのプロセスをちゃんと表現しなければいけない。そういう観点で雲をどう取り扱うかという包括的な研究、モデルの中でどう取り扱うべきかという研究がないということ、そのことに尽きるのではないかと思います。

林（東大・理）：たぶん同じ質問になるんだと思うんですが、モデルで出てきた診断的な雲量とデータと比べると同じことを、たとえば本当のデータ、つま

り水蒸気観測から計算される雲量と、同じ本当のデータ、つまりわれわれがobserveできる雲量と比べるとどうなるんでしょう。

時岡：それはやってみないとわかりません。

林：そういうことをやればそのやり方がどれくらい正しいか正しくないかということがわかる。

時岡：おそらくそういうことをやらなければいけないだろうと思います。こういうことを皆さんに興味を持っていただいて、そういうことをやろうという人はこれから大勢出てこないといけないだろうと思います。

中島（東大・理）：先ほどから熱帯の対流雲に伴ってかなと云などが残って、それが結構大きな雲量を占めるという話がありましたが、僕自身一度インドネシアに旅行したことがありまして、そのときにも熱帯といつ非常に層状の雲が多いのを見てびっくりした覚えがあります。その点で高橋先生が観測に行かれて見られた500mb付近に雲底を持って広く発達する上層対流雲というのは、非常に興味があると思うんです。ポイントだけ申しますと、500mbの雲底を持つ雲というのがいわゆる接地境界層付近から発達した深い対流に伴ってできたかなと云の類であるのか、それとも本当のlarge scaleの上昇流に伴ってできた雲であるのかというのは問題だと思うんですが……

高橋：根があるかどうかなんですよね。根があるものもありますし、どう見てもないものもあるんですよ。ですからやはりあそこは今まで見落としていたのではないかという気がするんですけども、松野さんも非常にびっくりしましてあれは自分達も考えていなかったと言っていましたね。

谷貝（気象研）：田中先生に質問なんですけれども、先ほど雲の赤外放射に対するemissivityと太陽放射に対するalbedoに関して、雲を一つ与えれば両方とも自由度がなくて一意的に決ってしまうということでしたけれども、逆に、たとえば適当にemissivityとalbedoを任意に指定した場合にそれに対するような雲が原理的にあるいは理論的にあるものなんでしょうか。

田中：それはある狭い範囲ではあるんでしょうね。粒径分布や厚さの違いでemissivityとalbedoの違った組み合わせがあり得ますから……

谷貝：真鍋さんが適当に与えたような……

田中：half black とか full black とか、あれは思い切った置き方していると思いますけれども、雲の太陽光に対する性質は観測などで知られているものを与えている。赤外線に対してはほぼ half black なのでしょう。そういう常識の範囲で与えているのはいいんじゃないでしょうか。ただ、太陽光に対してはものすごく transparent で、たとえば数パーセントしか反射しなくてほとんど90パーセントも通してしまうけれども、赤外線に対してはとてつもない emissivity をもつというような、先ほどの例はそういう例で熱力学の原理から考えても少しおかしいので、どこかおかしいところがあるんじゃないかと思っているわけですが、そういう与え方をすると、物理に反するような雲になってしまうかもしれません。しかし、そのことを言いたいんじゃないで、雲は微妙な兼ね合いですから非常に厳密に対応関係を入れなければ、その微妙な兼ね合いをきちんと評価することはできない。そっちを言いたいわけです。

増田（東大・理）：雲量という量が出てきたんですけども、雲量というのは多分、ある視野の中にある分解能で見たときに雲と認められるものがどれだけ占めているかということだと思わんですが、これが少なくとも衛星雲量同士を比較する場合に、画素の大きさにどれだけ依存するかということについては、何か整理されているのでしょうか。

時岡：私はそのことについては知りませんし、ISCCPのデータとかどういふふうなプロセスで雲量が決められるのか知りたかったところで、井上さんかどなたか答えていただけないでしょうか。

井上（気象研）：私の知っている限りでは、アメリカの方が LANDSAT と GOES の full resolution のデータとそれぞれ分解能の違うもので比較を行っていて、雲量が異なってくるという結論を出しているのを知っています。

中井（国立防災センター）：高橋先生に伺いたいんですけども、上層 500 mb 以上のところにしか見られなかった雲、あるいはレインバンドに伴うかなど雲ですけども、一日のうちでどのくらいの時間出て、どのくらいの時間続くものなのでしょう。私自身は日本で雨の観測をやったことがあるだけで、強い雨は未明のころによく降るなという印象を持っていて、そのころにやはりかなど雲がたくさん出るんでしょうから、そうなるそれが放射の日変化ということに効いてくるのではない

かと想像しているのですけれども。

高橋：今回観測は3週間しかありませんでしたので、あまりはっきりしたことは言えませんけれども、だいたい朝方10時ころと夕方8時頃と、よくシャワーがありました。それから大きなバンド雲ですけども、いつも同じ時期じゃなくてランダムのように、大きな擾乱が来たときにそういうものが出てくるようです。先ほどいった 500 mb 以上の大きな雲について言いますと、いつもしとしとと雨が降っているんです。ちょっと外に出るとびしょり濡れるくらい非常によく降っています。ですからあれは非常に長く続きますし、ときには1日くらい続きますので無視できないのではないかという気がしています。

Sanga（京大・理）：高橋先生の答えにちょっとコメントで、あとは時岡先生に質問です。アフリカの中央 convergence region のあるところで、普通は高橋先生が写真を見せましたように、午前中とか朝方くらいでは雲はすごく低いレベルでシャワーとかそのような雨が多いです。午後とか、特に一番暑いときは3時ころ、3時と4時ころから夜9時ころまでよくできる cumulus の雨が多いです。そのような形で特に rainy season は雨が降っています。

僕の質問は GCM の中で 400 mb 以下の雲は使われていないのかということです。400 mb 以上だったらそれはモデルに入っている。そうじゃなかったら雲がないということですね。

時岡：これはかなとこ的な雲だけを雲量としてカウントしようということです。400 mb より低いような雲はそれほどかなとこにならない。ぼつぼつとポップコーン状の積雲が多いだらう。それも雲量としてカウントすべきですけども、それらの研究をしてから評価して入れるべきで、わからないからとにかくそれはゼロにしよう。そういう状態しておいたのが現在までずっと続いていたということで、それ以上の理由は何もないわけです。こういうモデルを気候モデルとして使う以上、それはもはや放置しておけない段階にきております。海面水温も予報するような実験をやり始めた限りは、何とかしなければいけないということだと思います。ですから 400 mb 以下の雲もこれからは雲量をちゃんと評価するいろんな研究を待つ前に、当面は応急処置ということをやって、それなりの対応をしなければいけないと思います。（東北大 山崎 剛）