

座談会 1970年代の気象学を語る*

まえがき

最近、すぐれた解説が多く喜ばしい事であるが、反面その内容は専門的となり、気象学全体を概観する面からは必ずしも十分とは思われない。むしろこれ自体が一つの大きな問題として取り上げられるべきことと思われる。しかしこれは昔と違って残念ながら個人の力の限外にあるように思われる。たまたま本年は1970年を迎える新年にあたり、将来の気象学の姿を追って座談会を開き、新たな解説を試みた。この企画は編集委員会が数名の方々に出席を依頼し、その発言をとりまとめたものである。したがって文責は編集委員会にあるが、その内容について多くの意見、反論のよせられることを期待する。

[天気編集委員会]

第1部 1960年代のまとめと反省

司会 「今日は遠いところをどうもありがとうございます。今日の主旨は従来天気で解説という欄を設けておりました、各専門分野の方にそれぞれのレビューおよび面白そうな問題という解説をお願いしていたわけですが、その解説の一環といたしまして、いままでの解説に書きたりなかった様な部分を是非この様な機会に話していただきたい。例えば、解説ですとどうしてもある程度さわりのいい部分だけにとどまっていることが多いかと思えますけれども、もっとつっこんだ批判なんかも、やはり場合によっては必要なんじゃないかと思うのです。それからまだ完全にペーパーにまとまっていない、あるいは体系としてできあがっていない部分でもおおいにコメントをするような面があるんじゃないかと思えます。最初はやはり一応分野別に、例えば、雲物理、電気、力学、対流、熱帯という風において、今までの研究内容の反省といえましょうか、そういうことをやっていただき、そのあとでフリートキングで分野ということにこだわらずにいろんな面から気象学の面白そうな問題を探っていくのではないかというふうに考えております」

1-1 60年代の気象力学は何をもたらしたか

司会 「それでは力学のほうからまいりましょう。ちょうど60年代の終りにあたりまして、過去十年間で気象力学でこういう風なエポックメイキングな事があったとか、例えば50年代というのは数値予報にあげられて天気現象に関しての議論が多かったけれども、それが60年代に入ったら数値予報から数値実験へというように、かなり力学の色合いが違ってきているんじゃないかという

気がするんですが、その辺のあたりからいかがでしょう

A 「確かにその通りだと思うんです。数値予報は最初は天気予報と非常に密接な関係があって天気現象の数値シミュレーションといえば、いえるような形でスタートしたわけですが、今はもう数値実験とか数値シミュレーションの方法というのは気象力学のいろんな分野にわたっていることは御承知の通りです。例えば大気大循環そのもののメカニズムを明らかにするとか理解するとかいう方向、それがやがては気候の数値シミュレーションというのですか、つまり大気だけの循環ではなく海洋循環も含めた様な本来の意味での大気海洋循環をカップルさせるというような方向、それからあとで対流なんかのお話があると思いますが、そういうスケールの小さい現象の数値実験、一方では、例えば最近の話題のひとつとしては大気熱潮汐があります。モデルは大循環のモデルと同じようなモデルですけれども目指すところを熱潮汐においてそれをシミュレートするか、それから特に地球表面近くの境界層での日変化のシミュレーションとか、かなり気象学全般の問題にわたってそういう方法が適用されています。これは一種の流行みたいにも見えるわけです。最近わたしは果してそういう数値シミュレーションの方法というのは本来の意味で一体学問に役立っているのかどうか、つまり物理的な意味を本当に持つのかどうか、という目でちょっと見直しているのです。結論からいうと大体数値シミュレーションの手法というのは我々の理解を確実にしている。つまり今までの主として線形の理論で大体推定されていたようなことや基本的なメカニズムをわりあいしっかりした目で見られるし、こういう傾向は70年代の展望という形で申しますと

* On Meteorology in 1970's

もっと範囲が広がるんじゃないか。あるいはパラエティに富んでくるのではないか。例えば成層圏以上の上層大気とか惑星大気とかも対象とする。あるいは対流圏ではメソスケールの現象であるとか、台風の発生や非対称性、三次元的な対流、それから中小規模の低気圧といったもののシミュレーションという形に段々範囲が広がってくる。それから大気大循環にしましても季節変化を問題にする。又季節変化もノルマルなものからアノマリーを問題にするとかあるいは境界層などもっと精密に扱うというような方向に行くのではないかと想像しているのです。しかしながらどうも定性的な理解が進展するであろうということは自信をもって云えるのですけれども、果してそれが充分満足できるように精密であるかどうか、つまり定量的な理解にどこまで達しうるかどうか、この辺の所がその後で問題になるのじゃないかという気がするのです。私なりに片寄った云い方をすれば数値シミュレーションあるいは数値実験の手法というものは大気科学の諸分野を横につなぐ接着剤のような役割をだんだん果してきている、云いかえればある意味では大気科学が再構成されてきているのではないかという気がするのです。

1-2 数値実験は万能ではない

司会 「もう少し突っこんでお聞きしたいのは、本当に数値実験で数値実験なるがゆえにこれがわかったということをズバリいうとどういうところにあるんでしょうか」

A 「数値実験は勿論オールマイティではありません。今の所、未知の気象現象の存在を予言する程進んでいません。第一それ程モデルは完成していません。しかし理論的あるいは実証的に推測したものを確認した例は沢山あります。例えばフィリップスの大気大循環の数値実験で、大規模じょう乱による物理量の水平輸送の重要性を明らかにした成果はまだ記憶に新しいです。最近では、ハントー真鍋が18層の大循環モデルを使って、大気熱潮汐におけるアブソーパーとしての水蒸気の役割の重要性を明らかにしましたし、真鍋ブライアンは大気海洋結合モデルで、海洋の存在が降水分布をガラリと変えていることを示唆しました。一方また数値実験は観測不可能のものでも、近似的にその分布を教えてくれる。例えば大規模じょう乱に伴う上昇流の場や成層圏一対流圏を通した平均子午面循環の様相、熱帯圏界面付近の水蒸気の集中、回転水槽実験における摩擦境界層の決定的役割、台風発達過程におけるエネルギー収支、等々沢山

あります。しかし一方では弊害もあります。例えば何でもいきなり計算機にかけがちで、確かに計算機は結果を必ず出してくれます。物量作戦でゴシゴシやって、とに角こうなったということだけを示すことになります。ひどいものになると、計算機のアウトプットを映画でだけうつしてすましています。これは素人には退屈しないでいかもかもしれませんが、科学の本来のあり方からいうともっとしっかりと結果の解析をしてほしい。プリント用紙の山の中に科学が埋れて押しつぶされないように、また計算機が一部の人の高級なおもちゃにならないようにしてほしいと思います。そのためには少し表現が悪いですが数値実験で一体何がわかったのか、それはどれだけ定量的に確かなのかというアイクチを常に研究者につぎつけておく必要があると思います」

C 「まあ、話しの腰をおるようなんですが、その数値実験なんですけれどね。その研究方法はそれ自身でこれから発展していける。つまり今も十分材料はあるしいわば能力もあって他の分野との関連なしに自分達でずうっとかなりいける様な状態であるのですか」

A 「他の分野というのがよく分かりませんが」

C 「例えば一つの例では解析という話がありましたね。そういういつも解析みたいな例をとり込みながら進むのか、それとも例えばおっしゃった力学的な、数学的なモデルのつくり方みたいな問題を発展させていくだけでかなり進めるのかどうか——」

A 「数値実験の場合、物理学の基礎方程式の正しさを前提としているわけです。もしこの信念に間違いがなければ後は観測値の精度、電子計算機の計算能力がモノをいうわけです。そうはいっても、大気中のあらゆる時間、空間スケールの現象をすべて同時に取り扱うことは不可能ですからどうしてもどこかで取扱いの対象とする現象をカット・オフしなければなりません。このカット・オフの裏付けに解析の知識がいます。またカット・オフしたために残した部分と除いた部分との力学的、熱的相互作用が非常に重要となってくるわけです。この相互作用のとりこみ方にも解析の知識が必要です。更に残した部分に対しても、実際問題としては相当の単純化をやるわけです。合理的な単純化にはやはりしっかりした観測事実がないとできません。この相互作用や単純化の所で自然との大きい違いを生じる可能性があります。また初期条件、境界条件の設定にも解析の助けをかりねばなりません。こうした関係をしっかりふまえた上で解明すべき問題点をいつもクリアーにしていけば、力

学的な、数学的なモデルづくりを進展させる方向の数値実験でかなりいけるといいます。例えば雲物理についても、雲物理本来の問題を深めていく面があると思いますけれども、もう一つは雲そのものの力学というものがあって、それとメソ・スケールとのつながりが問題となります。そこをどうつなげるか、十分な観測はないかもしれませんが、初歩的段階からモデルそれ自体を進展させていくことによって何らかのインフォメーションや場合によっては未知の現象の予言もできないかと思うのは少し希望的観測にすぎないでしょうか。所で日本では、数値実験について、まだまだくわす嫌いの傾向がある。こういう空気を早く一掃してしまいたいと思います。また数値実験をやる側の人間についていうと、数値実験に首をつっこみすぎて盲になる危険性もあります。計算結果が出ただけで何か仕事をしたような錯覚におちいりがちです。これがこわいと思います」

1-3 線型理論の再考

司会 「それとららはに例えば比較的最近といえるかどうか分かりませんが、より基礎的な問題が又ここ数年間再認識されているのではないかという気もするんです。たとえば不安定理論にしても、チャーニー以来のパロクリニックウェーブにしても、またフロントルウェーブだとか回転流体という基本的な問題に関連してもう一度スポットをあびつつあるような気がするんですが、その事とノンリニアまで含めた数値実験との関係はどんな風なのでしょう」

A 「ちょっとむずかしい問題だと思うんです。従来今の具体的な例で申しますとチャーニー以来のパロクリニックウェーブの理論があまりにもはなばなしすぎたために、もう全てがそれで行けるということで例えばその前にあったノールウェイ学派のフロントルセオリが全く無視されていたわけですね。しかしながらやはりパロクリニック不安定ではないもの、例えば今のフロントルウェーブのようなものが最近注目されてきた。一つには数値予報で実際に予報してみてもうまく行かなかったということも原因していると思うのですが一方では二重の意味で学問の流行といったものとの関係があるのではないかと思うのです。即ちパロクリニックウェーブだというと皆がこれまでのことを忘れてワッとそっちの方へ行く。フロントルウェーブだというとまたそちらへゆれるといった風な流行です。それはともかくとして今の御質問については、僕の考えでは最初にやはり線型の理論

があって、数値モデルがもう少し一般的な形、すなわち非線型性を考慮したような形で扱っていく。それで出た結果を再びリニアなセオリで理解しようというこういってお互いに相補い合うという関係ではないかと思えます。現在迄の所、現象の発端は線型理論でうまく辻ツマがなっています。その後の変動と展開となるとやはり数値シミュレーションでないとだめでして、これが威力を発揮しますが、これはあくまで手段であります。物理的な面から理解するには、シミュレーションの結果をていねいに解析することも必要です」

司会 「今のお話ですと結局一たん確立したかに見えた基本的なリニアセオリというものが必ずしも実測と一対一ではない面があると思うんですが、それを補う一つの面が数値実験でノンリニアまで含めた様な問題の扱いになってきているという事、それからそれと併行して今度はやはり実際の大気の観測ですね、解析あるいはシノプテックス、そういう様なものがリニアセオリだけでは説明つかない事を認識させる一つのきっかけになったかと思うんですが、そういう意味で解析で最近の目新しい発展といえますか、こういう部分が解析によって新しく問題として浮び上ってきたという風な問題についてはどうでしょうか」

1-4 赤道波の発見—新しい熱帯気象学

司会 「ここ数年赤道の問題がクローズアップされてきたんですね。今まで熱帯といえば、どうしてもタイフーンとか、モンスーンとか、いかにも湿気が多い話のような感じがしていたのが非常に別なイメージの赤道の問題がからんできた。Bさんに赤道波発見のいきさつあたりから最近までの事情をお話ししていただきます」

B 「だいたいはじめからうまく行くと思ってやりましたが、偶然的な面もありましたですね。何があるかわからない、何かあるだろう、いろいろ面白い事がありそうだ。学問的にそういう段階にある。更に1970年代もひきつづきこういう時代が続くだろうという見通しがつくわけです。いわゆる熱帯と称せられる領域は地球の表面のかなりの部分を占めるわけですね。ところがわれわれの天気図は北緯30度位から北しかないからあっちの方はたいした領域ではないと思うけど実は一番広大な領域でしかも大循環の熱源であるばかりでなく、台風など温帯地方にもいろいろ直接的影響をもたらしている。どうして熱帯がおくってきたかという、現象的にいえば観測所が少ないからどうしても気候学的な表現記述にとどまっ

ている、それでも観測所ではタイムシリーズ（時系列）のデータが用意されている。そういうことからこの領域ではタイムシリーズのデータの解析が非常に重要な手法になっているのです。しかしそれも電子計算機の出る前はせいぜい平均値を取る位しか出来なかった。それにしても平均値をとる事自体いわゆる成層圏の2年周期という誰でもやれば必ず出来るような事が60年代の最初になって出たという事が面白いと思うんですけれど、そういう平均値、パーの手法といいます、そういう手法からようやく1960年代の後半になって個々の擾乱、あるいはそういうものについての細かい事はわからないけれど擾乱を統計するいわばプライムパーの手法に行きつつあり、なおそれが70年代にも続くであろうと考えます。結局中緯度で40年か50年代、高層では50年代、大体整った手法がようやくこれから中高緯度並みに進められようとしているけれども、70年代の10年かけてもシノプティックネットワークというものはできないのじゃあないかというような悲観的な見通しです。それでも GARP とか TROMEX とかそういうような形で臨時的にはだんだん中高緯度並の扱いが出来るようになるんじゃないかという状況にある。われわれの熱帯擾乱も、まあ先がけなんでしょうが、そういう風に進むと思います。いずれにしろあの赤道波もかいてしまうとはっきり分ってったように見えますけど、あれも特別観測のあったほんの一時期のエピソードな出来ごとであってある意味では日常的ではないわけです。やはり気象学というのは地震学などと違って日常的にならないと終着駅に達しないんじゃないかというわけで、まだまだこういう時代は続くでしょう。中高緯度地方になるともう観測網からその情報収集からいわゆるシステム工学的に一切きまった手法で処理されるのであってもう研究ではなくなってしまった。そこまでもっていかない限り目的を達成することはできない。70年代では熱帯はそこまで行かないでしょうね」

C 「そういうシステム工学的になる可能性があるというわけですか。熱帯領域そのものが」

B 「それは衛星とか、そういうものによって今までの伝統的なゾンデ観測網をおぎなってかなり出来るんじゃないかという気がする。そうなった時にもう熱帯気象学の使命は果して気象が文字通りグローバルに取扱えるようになる」

C 「南半球はなおわからんわけでしょう。かりに南北の中緯度はわかったとして熱帯が両方からはさまれて

来たという形で研究の必然性が生じたのかそれともそれ自体アンノウンで面白いのか、どっちのですか」

B 「どっちもあるでしょう。僕のいいたいのは風土記をかきたい人も参加するし、それから両半球の交換をしたい人も参加するし、というように、こんな人がより合い所帯でやっていくというのは未だ素朴な段階なんです」

C 「近頃のように専門化されてくると風土記的なものはいやだ、特殊なものの方が好きだという人が出てきてつまり熱帯気象みたいなものをやろうという人間が増える傾向なのですか」

B 「だからやりたいという人もあるんでしょう」

A 「どうい波がそもそも出来るかという安定度の問題にしても、今はいくつかの理論が出て来ていますけどそのもとになっている仮定が自然界で成立しているかどうかその点調べる必要があるように思う」

B 「最近熱帯擾乱についていろいろパラメーターをうまく与えて解析結果にうまく合わせる手法がわかってきた。そうなってくるとなおさら、じや本質的な問題は何かということをもう一回再考しないといけない」

司会 「そういう意味でやはり熱帯の場合もデータ解析というのはこれから相当先依然として優先するんじゃないですか」

D 「熱帯波動の解析には感心するんですけどね、ああいう事が出来たというのは低緯度だからあうまくいったのか中緯度でもやれたものをBさんのような注意力をもってやらなかったという事なのか。低緯度独特の何か利点という事なんですか」

B 「むしろ中緯度だったら天気図その他から現象がわかっているからそんなのは学生演習だといって誰も手をつけない。ところが逆に熱帯はカントンしきかずと継続的な観測はない」

D 「大西洋とか、アフリカ、南米ね、あのあたりのデータはどうですか」

B 「アフリカもちょっと手がけた事があります。それから大西洋は全然データがないんです。それから南米はないけれども近くのパナマ、それからあとクリスマス、カントン、マーシャル、これはほとんど断片的なものです。だけどそれしかないからやるんだけれども、低緯度独特なものではなくてむしろ中緯度でやれば結果は非常にあたりまえの形ででてくるだろうと予想されることなんです」

D 「ああそうですか。あの擾乱というのは」

B 「いいえ、擾乱の種類じゃなくて手法の話です。例えばこの手法を稚内とか八丈とかでやれば偏西風波の通過っていうのがちゃんとでてくるわけです。しかし我々にはすでに天気図があり偏西風波の理論があるから、結局再確認にすぎないわけです。しかし中緯度でやってみて天気図その他でわかってくる現象はこの程度に記述されるのだから赤道でみいだされたこの擾乱もこの程度の現象として理解すべきだという意味では意味をもっている」

A 「対応性でね」

C 「赤道の成層圏波動の話は発表の演出がうまかったね。あれだけくり返しくり返し話されると、顔をみただけで、あああれか、と思う。あれはね、僕、大事な点だと思っんですよ。断絶の時代とか、水平思考とかのキャッチフレーズと同じでね、あれも学会発表の一つのテクニックとして非常に重要な点だろうと思っんです」

1-5 対流理論への要請—スケールの問題

司会 「このへんで話題を対流に移しましょう。まず最近の動向あたりからどうでしょうか」

D 「先程いわれた力学というのは、一応大規模な運動の力学ですね。大規模な運動の力学に比べて、小規模といいますが、つまり対流の力学の研究というのは大体10年位遅れているわけです。大規模な力学の50年代の段階が、convection では現在の段階にあたります。1960年頃は、まだ少なくとも日本の気象学会においては対流なんていうのはままこ扱いで、最近ようやく嫡出子といいますが、一人前扱いされ始めたという感じがするんです。大規模からの convection に対する要請と、もう一つはもっと小規模な乱流の方面からの convection に対する要請と、この二つ方面からちょうどはさみうちをかけられている状況です。両方ともその進歩の度合は対流に比べてはるかに進んでいると思っんです。一般に自分の子供の成長というものはおそく感じるかも知れませんが、

それで、大規模な方の大気運動は、地球のサイズが決まっていますからそれ以上大きなものはない。だからそれより小さなものと interaction だけを考えればいいわけです。勿論、その大規模な運動内でもスケールの違ったものは色々ありますから、その範囲内の non-linear interaction というのは重要になってきています。一応そういうものだけでクローズさせ、次にもっとスケールの違った1オーダー、あるいは2オーダースケール

の違ったものとの interaction、それを考える場合には小さい方だけに目を向ければいい。そこで対流という問題が出てきたわけです。energy spectrum で見ますと大規模な運動を考える場合、ある波長以下をカットオフしているわけです。カットは一応しますけれど、そこで energy のやりとりがある。その所をうまくつなぎ合わせないとまずいわけです。例えば、低緯度地方における convection というのは、そういうものを考える場合に非常に重要になっている。そこで、大規模運動においてサブグリッド・スケールと考えられる小規模現象をどういうふうにしてくれるかという要請が10年位前からある」

C 「そうすると対流の研究というのは、自ら出たのではなくて、他からの要請に引き出されたということですか」(笑い声)

D 「大規模な方の勢力が強かったもんですから、あの当時はね」

C 「なるほど」

D 「一方乱流の方はですね。これは比較的接地気層で顕著な現象ですから、観測もし易いということもあって、割にそちらの方の研究は古くから伝統があるわけですね。そこではせいぜい高さ10mとか20m位に限られていて、それよりもっと上との interaction ということはそれほど問題にならなかった。ところが境界層の方も段々上の方に上ってきまして、今度は、自由大気との interaction ということが問題になってきました。もう少し大きなスケールとの相互作用というものがどういう風になっているか、まあそちらの方からの要請も強くなってきたわけです。ところで、対流自身は気象学においてはどうだったかといいますが、気象の数科書なんかをやらんになってもすぐ気がつくと思っんですけれども、大体 convection のセクションはないですよ。テキストの最初に出てくる熱力学の章で、stability and instability のところ、つまり気団の断熱運動で安定であるとか不安定であるとか、単に静力学的安定度位で終わっちゃうんです。最近のテキストでようやく数ページ位 convection とかにさかれていますけれども、全くそえもの程度のもので、非常にオーソドックスな研究というのは、流体力学プロパーの分野でなされている。だから convection 関係の論文の引用文献を見ればすぐわかるんですけれども、ほとんど気象の雑誌からの引用はないわけです」

司会 「たとえば有名なチャンドラセカールの教科書が出たのはあれは1958年頃でしたか、それ以来 Bénard

convection の理論、あるいはそれに対応したような室内実験は、基礎理論としては着実に進んでいると思うんですが、それとさっきおっしゃった実際の気象現象としての対流とは現在どういう風にかみ合っているのかということなんです」

D 「この辺があまりうまくかみ合わないんですよ。といいますのは、一方においてはさきほど云われたチャンドラセカールの教科書に載っている様な convection セオリですね。あれは気象的な言葉を使っていますと dry convection つまり水蒸気の相変化を伴わない絶対不安定の場におこる convection です。つまり平行な二つの水平面にはさまれた流体が下から熱される、あるいは上で冷却されておこる絶対不安定な成層中でおこるわけですね。どういう状態になれば convection が発生するか、これは Rayleigh 等の理論がびたりと合うわけです。気象学ではああいふ風にビタリと合うというのはまず考えられないわけです。ある現象を説明するのにこういうやり方でも説明できれば、こういうやり方でも説明できる。これでなければ絶対だめだというほど、つまり正確な理論というのは非常に少ないと思うんです。それはまあ一般的な話ですけれども。

つまり Rayleigh convection というのは、今までの convection セオリの中で最も確信できる頼りになる唯一の理論だと思うんです。それに対応する湿った大気中で起る moist convection ですね。これは最も気象屋さんにとって重要な問題ですが、理論、観測ともにまだまだ幼稚です」

司会 「さき程そういう事を質問しました一つのきっかけは、九州の学会で下層大気に関するシンポジウムがあったからです。さき程お話しに出ました接地層乱流問題からその観測の問題、さらにメソスケールの問題というふうに一応関係した話題が出たわけですけども、各々の人の云っていることが全然チグハグなんです。というものは、乱流の専門家の方は本当に基礎的な乱流の理論のお話しはされるけれども、それでは一体それが低緯度の積雲対流に関係する boundary layer ではどうなっているかという理論にはならないわけです。それには何が欠けているとお考えでしょうか」

D 「boundary layer を主としてやっておられる乱流関係の方はですね。それよりも大きなオーガナイズされたレギュラーな convection に対して、一体どういう必要性があって何を要望されるかという問題点の所在といいますかね、それを明確にする必要があると思いま

す」

A 「例えば、最近数値実験なんかでエクマン層の重要さということは口ではよくいわれているわけですね。けれど実際エクマン層の微細構造がどうなっているかということや接地気層の専門家に伺っても必ずしもラージスケールの力学の目から見てわかりやすいような意味での説明は下されていないわけですね」

D 「まだ手はついていないと云っていいんじゃないですかね。古典的なエクマンの理論以上にはね」

司会 「そういう事なんですかね」

B 「一番観測のしにくい所じゃないですかね」

A 「高からず低からずという所でね」

1-6 対流理論から積雲へ

司会 「それで、さっきお話しがあったような、下からは乱流からの関係があり、上からはラージスケールに対する熱輸送とか水蒸気輸送という事がある。だから同じ対流にしても、おそらく立場によって違うんだと思うんですが、積雲というのは、どういうのだと思っていられるのですか、実際に」(笑い声)

C 「例えば、僕なら、飛行機で実際飛んだ経験によりますね。ほかを飛んでたらほとんど揺れないのに、なぜ積雲に入ったらドーンと感じるかですね。かなり強い垂直運動があるとそういう何かもう糸くずのかたまりみたいなやつがあるわけですね。積雲の下を飛んでたらほとんどもうショックはない。何となく外からみて中はもうこんなになっているんだというモデルを僕は持っているんですけど、Dさんはどういふのを考えますか。」

D 「特に、積雲というのを対流と区別して考えることはありません。たまたま水蒸気があるために、上昇域で凝結がおこって、目に見える様な雲になる。力学的には対流ですからね。普通の Rayleigh convection においては、上昇域と下降域という区別といいますか、力学的には全く対等なんです。ところが moist convection の場合はそうはいかない。熱力学的に上昇域というものと下降域というものとを区別しなきゃならない。だからそういう意味では違いますけれども」

C 「おかしいぞ」

D 「それともう一つ違う点は dry convection の場合は、絶対不安定の場でおこるわけでしょう。その絶対不安定な層というのはそんな厚い層にわり広い範囲にわたって存在しないわけです。まあ、だいたい接地気層とか非常に狭い領域で存在するんじゃないかと思うんで

す。条件づき不安定な層というのは相当大きな厚さにわたって相当広い領域にわたって存在しているわけです。そうしますと、そこで起り得る convection のサイズも大きくなる。スケールが大きくなると運動の intensity も強くなるわけですね」

司会 「cloud physical な所がそれに重なりますと、それが果して乱流とか運動などに対してどれだけの効果を持っていると考えられますか」

A 「それは今後の問題ですが、ダイナミクスにそう違った点というのは考えにくいように思う」

D 「そこはむしろラージスケールの方へ便利な考え方をするわけですね。いわば煙突みたいなものを考えちゃってね。熱も送る水蒸気も送るってやっちゃえばラージスケールの方にとりくむには便利なのです」

A 「ラージスケールの立場から云えば、そういうことはあるかも知れませんが、僕が最初提起した問題はそれそのものとして、たとえば、お読みになっていると思いますが、クオータリ・ジャーナルにメイソンのアドレスの原文が出ています。そこで彼は雲物理から、ずっとフロントルウェーブまで論じているわけですね。ああいうやり方が大体必要かどうか。そういう立場にたつて極端に云えば雨の粒が出来るところから雲の形成するところ、つまり積雲対流ですね。それからメソスケールのシステムまでを一体として総括的にみる必要があるかどうかという問題があるんじゃないんですか」

C 「霧粒一滴から積雲までを全体として見なければいけないのか、あるいはそれぞれの分野で見たいのだろうか」

D 「いや、その前にちょっと問題があります。今までの雲物理の方が雲を扱うときには、例えば、空気の運動を仮定してしまって、その場で cloud physical な現象がどうなっているかということをやります。けれど最近ダイナミクスを入れた研究をされようという傾向があります。それは非常に好ましい事ですが、そこで僕は一つ疑問に思っていることがあります。ダイナミクスの方ではスケールという概念が非常に重要になっている。気象界においてはいろんな様々なスケールの現象が混在しているため、ある現象を見る場合に空間スケール・時間スケール、そういうものを考えるという事が不可欠なんです。ラージスケールの現象を扱う時には100km位のスケール以下は落すわけでしょう。そうした場合には、それよりもスケールの小さな現象をなんとかしてパラメタライズしようというそういう考えがでてくる。そ

れと又同じことが今度積雲対流を考える場合にマイクロ・フィジカルプロセスのパラメタライゼーションとして起こる。つまり積雲対流を考えると今度はグリッドサイズが例えば100m位になるわけです。従ってそれ以下のサブグリッドスケールの現象をパラメタライズすることが必要になる。あまりクラウドフィジクスを勉強していないので、誤解しているかも知れませんがね、マイクロフィジカルプロセスあれば主としてモレキュラーのスケール、ないしは非常に小さなスケールの現象を扱っておられる。そこで100mのグリッドサイズを用いる場合グリッドポイントにおいてマイクロフィジカルプロセスを入れる場合に、そのフィジカルプロセスはどれくらいの空間スケールの代表性を持つのかということがわからないとパラメタライゼーションというのはむずかしくなってくる」

C 「あとからお話があると思いますが、それが非常にいいポイントをついているのでね。クラウドフィジクスの実験というものはね、いわば雲の中のごく一部分きりとしてきて再現しているようなものなんです。ただその実験で得られた結果を、今おっしゃったように自然の現象と対応させた議論をしようと思うと必ずスケールの問題が入ってくる」

D 「積雲対流のダイナミクスにこのパラメタライズをどういうふうにすればいいのか、この基礎的な事を考えないでね。考えているのかも知れないけれども、実際には一応ほおかむりしてやっているのが現状でしょう」

A 「ダイナミクスとクラウドフィジクスを結合したモデルというのはまだないんですね」

D 「極めて不完全です。70年代の議題の一つでしょう。ダイナミクスの方だけを考えるとどの層にウォーターコンテンツというものが大きくならなければならないかというまあその程度のことは出てきています。コンデンスしたものを空気と同じように運動させますとね、すぐ上の方に集中するわけですね。しかし雨粒がある程度成長しますと当然落下しますからね、それを考えれば必ずしもトップじゃないだろうし他のレーダーからの観測でも必ずしもトップに集中していないわけです。そういう事まで議論しようとするとはやはりどうしても今度は雨滴に対する運動方程式、そういうものを導入しなくてはいけない」

A 「そうするとやはりスケールの違うもののパラメタライゼーションでつなぐという風に問題がなっていくわ

けですね」

D 「なるべくマイクロフィジカルなものを考えなきゃいけない」

A 「そうすると、やっぱりそのスケールが違うということは歴然としているのだけれども、それをつなぐ統一した理解というのはやはりある程度必要だと思いますね」

D 「もう一つの問題は、対流をシュミレートしようとするすと、今度は対流よりも小さな乱流との相互関係というものを、ちょうど大スケールの方との相互関係を考えたと同じようにそこの部分をうまくつながらないといけなくなる。この場合の関係というのは、乱流のエネルギーを逃す方へ働くと思うのですが、その逃し方が一つの問題点になっているわけですね」

1-7 雲物理の問題点—実験室から Field へ

司会 「だいぶ対流の話から雲の話に近づいてきましたのでEさんに最近の雲物理の問題として伺いたいのですが、今Dさんがいわれたような要請というのは雲物理的に見ればどういうことになるのですか」

E 「雲物理といえば雲の結晶、氷晶核、雲粒、凝結核に関する研究で代表されて来たように思います。元来降水機構を明らかにする事が出発点だったと思いますが、その研究過程では氷晶核、凝結核を中心に microphysical な process を微に入り細にわたって室内実験の規模で研究されて来たのが現状だと思います。それではこれまでに蓄積されて来た個々の process に関する知識をそのままつなぎ合わせると、一つの降水機構なり雲に関する物理的なイメージが出来るかというとは実は問題なんです。雲物理は人工降雨と共に発展して来た歴史的な背景もあり、これまで余りに核の重要性だけが強調されすぎ、核=降水機構という傾向があったと思います。人工降雨も期待された程の効果が得られないことが次第に明らかになるとともに実際の雲について我々が余りに知らなさすぎるという事が問題となり、もう一度出発点だった降水機構に主点をおいて、その母体である雲全体を dynamic な面からも理解しようという傾向が出てきています。これからの雲物理は家内工業的な室内実験中心の基礎研究だけでなく、大がかりな project を組んで field での観測が盛んになるのはないかと思います。static な雲物理からの dynamic な雲物理に変わろうとしているとでもいいましょうか」

C 「それとやっぱり我々はあまりにも雲のことにつ

いて知らなさすぎるということがあるんじゃないかと思うんですがね」

E 「たとえば、雲粒、氷晶がどのように形成されるかというようなそれぞれのプロセスは大変に科学的です。というのは実験室でやっているから」

C 「けども、とにかくそうかといってそれが人工降雨に役立つかどうか疑問だね」

A 「極端にいえばね、大気科学としての意義づけが入ってきてないというか、オーガナイズな見方が出来てないという」

C 「まあ、さつきからいつているように水滴が大きくなるころまではよかつたんですが、しかし雲の中でどうかということになるとそここのところではほんととんじやうですね。核が少ないからと思って、たとえば核を入れてやるときくだらうと思うところが問題なんです。たとえば雲の中での増殖とか、どういう輸送が行われるかということについては一切ほとんど考えられない。だから科学的なその個々のプロセスに対しての理解は深かったけれど、地球物理的な見方がちょっと不足だったわけですよ。微に入り細をうがつんですけれど、結局それはね、総合という立場からいったい実際 contribute しているのかというわけです」

司会 「今その議論を聞いて考えますと、結局それじゃあもっと素朴にいろんなことを観察すればいいんじゃないかという気がするんです。やはり何か技術的な問題で限界っていうのがあるんでしょうかね」

D 「最近ね、ストームフェリですかシンプソンなんかのやっている、そのプロジェクトと、それからもう一つ最近アメリカとソ連なんかではね、ヘイルサプレッションということだね。まあそれは政治的な問題が相当あるようですけども、それはそれとして、ヘイルサプレッションに関連してサンダストム、積乱雲の観測もね、そういうクラウドフィジカルなものだけじゃなくて、ダイナミカルなものも同時に観測しようという傾向になっています。つい最近の新聞でソ連でヘイルサプレッションをやった人がレーニン賞ですか、なんかもらったという」

A 「ソ連の場合はそうらしいですね」

E 「ソ連だけじゃなくてどこもそうじゃないんですか。だからどうもね、人工降雨と同じような傾向に入ってきたような気がするんです」

A 「それとやはりさつきでできたように何をねらって観測するかということがやっぱり大事だと思いますね」

E 「そうですね」

D 「別のいい方では、スケールとっていいんでしょうけれども測っているものがいったい何を意味しているかははっきり考えた上ではからないと」

C 「それでね、たとえば雲を飛行機で観測する場合その観測結果を実験と結びつけるという方向に行くのか、それよりもっと大きく雲全体を理解するという立場でとるのか、どっちですかね」

E 「それは両方だと思います。その場合、雲や降水機構のモデルをまず考えて、どの様な量をどう観測するかが大事な問題だと思います。今迄に得られている基礎的研究のデータも実際に自然の現象に突き合わせて量的な estimate をやろうとすると実に不十分だという場合が多い。その意味ではもう一度雲全体、あるいは降水機構全体をみて、その解明に必要なデータを室内実験的にも求め直さなければならぬ事もあると思います」

C 「そうすると、さっきDさんのおっしゃったスケールの問題に関連してきて、実験室の中では起こらないと思っている現象でも、ある大きさの空間を考えた場合は起こる、ということがありはしないか。まあ、原子爆弾の爆発みたいにですね、ある臨界量だけなければ、そういう現象が起こらないという、そんなスケールの限界があるじゃないですかね。その場合、対流の問題にタービュレンスが入ってくるのと同様、雲物理もタービュレンスが関連をもってくるのでしょうね、おそらく」

E 「自然の雲の中で観測された雲粒の粒径分布は凝結核の size 分布と空間密度、上昇気流の速さを与えた凝結の計算からはとても説明が出来ないので雲の中の乱れによる雲粒の粒径併合とか雲の周りの乾燥した空気の混合による雲粒の蒸発とかが問題になってきますが、どのようなスケールの乱れ混合が雲の中にあるのか、今のところ全くわかっていません」

C 「直感的にいても一様にずっと上ったり下がったりしている中で核の衝突が起り得るか——。乱流が大事だと一般的にいわれているわけですが」

F 「せっかく数値計算で大きなスケールから中規模な対流、雲物理といったところに気象電気が入ってくると discontinuity を生じてしまう」

C 「その discontinuity こそ大事じゃないですか」

E 「やっぱり電気屋さんは電気屋さんのやり易い実験室で自分の職業を維持するためにやって、外へ出て行かない傾向があるんじゃないですか」

1-8 大気電気は如何に発展するか

司会 「この辺で話題を気象電気に移しましょう」

F 「まあ気象電気、大気電気と近頃いつているのですが、大たい大気電気はいったい何をやっているのかという批判はさんざん聞かされている。ところで実際に内容を見てみますとむしろこの十年間以内の方が盛んになってきてね、少なくとも現在は一番活動度が高まっている。これがどこまで昇ってゆくかはわかりませんが、それじゃいったい何をやっているかということになるんですが、大気電気関係は気象学会と電磁気学会とに二つに所属している。それで研究内容をおのずから気象学会型のもの電磁気学会、あるいはエーロノミー関係とやはり二つに別れているんですよ。エーロノミー関係電磁気学会関係の方はやはり大気電気のオーソドックス型で、しかもそれもスペースに向いているわけですね。それから気象学会型の方は雷関係とエーロゾル関係がやはり本命だと思います。その中で雷の方は一応ほとんど定説化してきていて、最近はそのほどもぎましい発展はないわけですね。一番難問題であった所のチャージがどういうふうにして生まれるかというのが残された問題の焦点だと思います。これも日本では孫野先生一派の方々の大変なエネルギーで最近はわりと目鼻がついているんじゃないですか」

C 「でもね、当事者にいわせると、雷の方もまだまだといっていますね。たとえば水がきいているのか氷がきいているのか、イオンがきいているのか、それぞれのきき具合が、まだはっきりしないというふうに……」

F 「そうですね。その点はまだありますね。それからエーロゾルの問題になりますが、これがやはりどういうふうに気象学に結びつくかというやはり私はやっぱり雲物理と一環となるんじゃないかと思うんです。雲物理とどう結びつくか、これはちょうど対流雲と雲物理とが結びつきそうでなかなか結びつかないという話が出ましたけれど、それと同じようなことがここでもある。もう一つ大気汚染関係との結びつきもありますのですけれどもね」

司会 「たとえばイオン層におけるチャージの補給みたいなものが雷の放電でかなり保たれるか、あるいは更に地球的規模でのチャージの分布みたいなものは雷雲なんかですと、どの位積乱雲があるとかですね。もっと自然に輸送しているかという問題は、大気電気の中で問題にならないんですか。つまりチャージを下か上へ流してい

るとか、そういう問題のアプローチは無いんですか」

F 「いやその種類の問題は大気電気という分野の中だけでクローズした問題になっちゃうと思うのです。これは私の個人的な考えも多分に入るんですけどもそのことだけではよその部分とのつながりがなかなかつかみ難い。その問題だけでね、それからの発展がちょっと考えにくいんですよ」

司会 「それは例えば、今おっしゃった雷の場合ですと、積乱雲の数が地球上にどの位あるのかというような事になれば……」

F 「ええ、モニターとしてのね、役割はあるかも知れませんが、しかしそれ自身の発展というのは疑問です。結局発展の仕方というのはやっぱり大気電気の中だけでクローズするような問題のつかみ方でなくて、となりの分野との手のつながりを何かやっていくことに活路があると思うんです。その可能性は多分にあると思うんです。私はやっぱり1970年代といいますが、恐らくそのうちの前半、この5、6年位の所が天下分け目といえますか、その辺でも大体勝負が決まると思うんですよ。大気電気にも色々分野がありますが、やっている連中仲々熱っぽいですから、一つ仕事を見ていただきたいと思うんです」

司会 「となりの分野との手のつながりの点について、もう少し——」

F 「その所の取り組み方が悪いんでしょうけれども、仲々核心について話が進まないんじゃないでしょうか。雲物理の中でも大気電気が雲物理とどの点に結びついていくかという結びつき、いわゆる方法論みたいなものですが、むずかしいでしょうが、そこはやっぱり切り開いていかないとね。なんていうか、明るみにも仲々出てきませんね。一人よがりのものになってしまうんですね」

司会 「雷の問題というのは、依然大問題ですね」

F 「それは確かにそうです。いったい雲の中では、どういう電荷分布をしておるか、それから放電のメカニズムはどうであるか、電荷はどうして生まれか、なんてのは一応は分かっているわけです。ですけども実生活と結びついた時にですね、どかんと落っこってくる雷をどうして予期するかとか、どうやってよけるかとか、要するに雷災防止の問題になると皆目わかっておらないですね。そういう面もまだまだ大気電気の一つの義務としてやっていかねばならない所だと思うんですけど」

1-9 放射は如何に利用されるか

司会 「この辺でラジエーションの方に目を向けたいと思いますが——」

G 「これからますますクローズアップされるのは、人工衛星に利用される放射の問題だろうと思います。とって別に特に新しい問題というわけではなく、放射の一番の中心問題である放射伝達の問題の発展であるわけです。この中で一つの問題として雲の取扱いの問題が考えられます。人工衛星で放射の測定を行う場合にうすい雲の存在が大きな障害となります。水蒸気として扱うことも出来ず、黒体として取扱えない様な雲、実際にはうすい絹雲などが最も良い例だと思いますが、この場合にこの雲の赤外透過率をどう表わすか、また場合によっては吸収だけでなく散乱も考慮しなければならなくなり、問題は非常に難かしくなって来ます。この様な複雑な媒体内での放射伝達の問題が実用上の重要な研究になって来ると思います。

もう一つの問題は、赤外放射の測定の問題でして、最近では技術的な進歩が著しく、赤外の測定も非常に多くの方面で容易に行われるようになっておりますが、その測定の精度がどうなのか、少なくとも大気放射の測定の場合には本当に信用出来るのかどうか疑問に感じています。赤外放射の測定の基本は、入射した放射を熱に換算してそのエネルギーを求めるわけですが、この場合に、伝導その他による熱の出入りがあるわけで、特に大気中での測定の場合には測定器と接触している空気との直接の熱のやりとりが極めて複雑で、これをうまく分離することが測定の精度を上げるポイントになっていると思います。現在の測定はまだまだこの点が不完全であって、立派な測定がなされているとは思われません」

司会 「絶対値の測定が問題ですね」

G 「この点の難かしさのために、標準黒体を用いて検定を行う場合にも今言った邪魔な効果をセパレートする方法が完全でないために正しい絶対値は得られない。この様に赤外の測定は利用度が高まっているにもかかわらず、測定の方法はまだまだ問題が多いように思います。

放射の問題を別の見方から分類すると、長波長放射と短波長放射に分けられると思います。長波長放射の方は吸収が主体をなす問題であって、最初に申し上げました人工衛星の利用の中心になっているわけです。大気の上端から逃げてゆく赤外放射を測り、水蒸気の吸収を利用

して水蒸気の垂直分布、炭酸ガスの吸収を利用して温度の垂直分布を推定するといった方法が実用に供せられようとしています。

もう一つの短波長放射の方は、散乱の問題が主体をなすもので、社会的実用としても種々あるのですが、気象の問題としては、エアロゾル粒子から雲粒子に至る範囲の大きさの浮遊粒子による散乱の現象を扱う問題がその大多数を占めているわけです。たとえば、粒径分布の測定にしても、その空間的変動がわかるような測定を行えば、粒子の変化についての動向を知り、雲物理の一面への contribution がなされるのではないかと考えています」

D 「人工衛星の場合に一番困るのは雲との関連だと思ふのですが」

G 「これが一番の大問題で、厚い雲の場合はこれを完全黒体として扱い、地面と同じことになって取扱いが簡単になるのですが、その代りその下の情報は得られないことになります。非常にうすい雲の場合が困るわけで、先程申し上げたような難かしい問題が起ってくるわけです」

C 「で、みんなやる気はあるんですか」

G 「あるんだと思いますが、やっている人が如何にも少いと思います」

D 「この問題に関連するんですが、さっきの水蒸気とか温度の垂直分布、これはゾンデ観測に対応するものが出来るわけですが、たとえば海上であるとか、南半球であるとか、観測点の少ない所をカバー出来るわけで、常に我々としては期待しているわけですが、きくところによるとパーティカルのリゾリューションというんですかそれがあまり期待できない。つまりフロントのような存在の検出が出来ないんじゃないかというような事」

G 「いわゆるインパース・プロブレムというのですか、そういった方法によるとその解法の特徴としてユニークな解が得られないので、解として色々条件がつけられ、平均的に考えられる状態から極端にずれたものは解として出て来ないという事になって、これが一つの壁なんだと思います」

D 「それはテクノロジーの問題ではなくて」

G 「現段階でのこの方法の弱点だといえるところだと思います。」

I 「例えば、衛星で成層圏のサドン・ウォーミングが観測できるという論文を見たんですが、本当はマップで見るとウォーミングの領域は相当にシャープなわけで

す。ところが衛星の方から見ると全域がかなりならされて、だだっ広く高温域があって本当は数10度違っているのが10°位に落ちて、それがまるくなっている。マップで見ると、それと確かにアノマリーが対応しているけどマップなしでそれだけ見たら実態をつかんでいるとはいいい難い面があるわけです。だからサテライトが本当に一本立ち出来るのはもうちょっと先のような気がしますよね」

C 「これは可能ですね、10年位の間に」

G 「それ程簡単に一本立ちになって活躍する時が来るとは思われないのですが、それでも平均的な値については、現在の測定を補ってかなりはっきりと実態を示してくれるものと思います。それはそんなに遠い先の話ではないんじゃないでしょうか」

1-10 成層圏・中間圏への進出

A 「所で、日本においてアッパーというか、プラネタリーアトモスフェアというか、それ等の問題をどう考えてゆくかについての御意見は……」

I 「それはやっぱりすじ道が二つか三つあると思うんです。一つは動機につながるわけですがけれど、例えば成層圏の場合にはウォーミングの発見というと52年ですから、もう20年近くなったわけです。それとその後の観測によって成層圏天気図が書かれるようになった、例えばそういう問題に対するアプローチの仕方として一つは対流圏との関連のことで、早い話が成層圏の循環と対流圏の関係がわかれば長期予報に使えるのではないかと、といったような立場が一つある。それから非常に高い所での特異な現象だから、これは確かに例えば太陽黒点の活動だとか、オゾンの量だとかフォトケミカルな問題に関連させようというような立場がある。もう一つは突然昇温にしろ比較的オーソドックスな波動力学で記述できる筈だという考え方で、だいたい過去歩んできた、僕自身はやはり流体力学の立場としてウェーブセオリーでウォーミングというものが記述できるのではないかという希望をもっているわけです。けれども正直な所まだウォーミングの原因そのものに対する結論は全然ないわけです。一方、今度はその観測の方はどうかというと60年代のはじめにウォーミングに関連したエネルギー的な解析がたくさんありましたけれども、65年頃から壁につきあたってしまった。だから今後期待される発展としては一つは、波動理論の上から順当なモデルをつくるというある意味ではクラシカルな線を踏襲したような道が一本有

ると同時にやっぱり新しい関連現象を探すことです。例えばウォーミングの起り方と成層圏の電波吸収、あるいは電子密度のそれとの関連がある。それがファクトとしてわかってきたのです。そういう事をやってる人はすぐに原因論と結びつけようとして四苦八苦しているけれども簡単には結びつかない。ロケット領域と成層圏領域の間、高さにしてちょうど 50km から 80km 位までのいわば暗黒地帯と云われている領域があるわけです。それもロケットでやっと分ってきた。その辺の素朴現象論を一回やるのが先ず仕事としては能率の良い事じゃないかという気がします。それが今までであるいくつかの理論をフィルターする作用があると思う。例えば、波動理論というものを今までの既成の波動理論があっているかどうか、あるいはオゾンその他のフォトケミカルなプロセスでウォーミングを説明しようとした事が正当かどうかまず素朴現象論をそういうフィルター作用を通してみていけば、ウォーミングをどう考えれば良いかという点がある程度シャープになってくる気がするんです」

1-11 高層での物質循環

司会 「雲物理ではどうですか。高層にはどんな問題がありますか」

E 「成層圏での水蒸気の問題と、それに関連して例えば夜光雲の実体の研究という問題があると思います。それから下部成層圏、20km前後に sulphate particle の dust layer があると云う事は1960年に Jung により見つけられていますが、最近特にこの一年間成層圏の sulphate particle を問題にした論文がまた出て来たように思います。

一寸ここで成層圏の問題と関連してお話したいのはオーストラリアの人達の研究です。研究態度の問題としても面白いと思いますので、ポーエンの流星塵説を確かめようと地上だけでなく成層圏の氷晶核の測定を始め、特

に成層圏での氷晶核の測定は新しい副産物として sulphate particle の性状について新しい事実を見つけ、成層圏粒子の発生原因に関して新しい問題を投げかけています」

C 「動機論なんだけれども氷晶核の起源に関連がある、いわゆるポーエンの流星説は、実際に仕事した所がどうもおかしい。別な面からいくと全然違った結果がでる。だけどやっぱり気が進まないもんだから、成層圏の20km位な所に硫酸なんかのパーティクルがあるだろうと考えた。これは60年代のはじめ位に云われていましたから、そのもっと上に上げてみたらどうかという事、そうするとマイクロメテオライトというようなものはあまり取れないで40km位まで少なくとも観測した範囲でコンダクティブレジャーがずっとのびているというような事がわかった。そうしますと、そういうものがどうして出来たか、そのオリジンとか、そういう興味でどんどんやっていける可能性はある」

G 「輻射、水蒸気とか、そういう事とは結びつかないのですか」

C 「それはこれからです。その辺はよくわかりません。ポーエンの説のように、一つの仮説をきっかけにして、仕事が進められて、その結果仮説の立証はできなかったけれど、データがたくさんとれた。ああいういき方も一つありますね」

E 「ある意味で問題の取り組み方が実に発展的なんです。流星塵が氷晶核として効くからと云って、何年も地上で氷晶核を測って、何日後に核数に peak が表われるという行き方でなく、だいたいそんな事を云い出した人が、そんな事を忘れてしまってそれを足がかりにしてどんどん新しい面白い事を見つけています。この辺のことは我々もよく反省して深く考えなければならぬ点だと思います」

第2部 1970年代の展望

2-1 新しい共同研究のあり方

C 「それで目的性をもったアプローチと、無目的なアプローチと二つあると思われるのです。気象学の場合どうしても目的性をもった仕事というものが、能率という面から見ると大きいですね。そういう意味では1970年というのはそういうプロジェクトの時代になりそうに私

は思うのですが、つまり一つの集中豪雨とか台風とかいう各分野の人間がある程度の力を出し合ってやる時代になるのか、それともあいかかわらず平行してのびる時代になるのか、ということですね」

司会 「みなさん御予想はいかがですか」

C 「本来は、気象庁ではそういう仕事をやりつつあるわけです。機能から云えば気象庁というのは天気予報

という目的がありますから、予報を行なう目的ではなくて気象現象を理解しようという目的のためにもそういうプロジェクトを組んだ方がいいのか、これを機会にお金をもらって日頃やりたいと思っている事をやってお互いの結果は並列に並べていった方がいいのか」

E 「どうもプロジェクトとしてですね、どっかから大きなかけ声がかかって、そしてそこにパッと集中してやる。これはどうなんでしょうか、むしろそれよりそれぞれのからにこもってやったかどうか知れませんがそのカラを破ってお互いの連携を感じてゆく所に本当の発展があるんじゃないでしょうかね。今までないような大きな発展は」

C 「私がいうのは、かけ声という意味じゃなくて、具体的問題について各方面の人がつついていくというのがカラを破る一番可能性のあるチャンスじゃないかと思えますね。それでないとお互いのインフォメーションを交換するだけだと、仲々生きた協力が難しい。つまり突っ込んだ討論が出来ないですよ。場合によったら自分の無力もさらけ出さんならんし、また相手の非常に痛いところもつかんならん。学会の場合には皆さん、お互いに尊重して、適当な所で遠慮するわけですけど、仕事となるとそうはいかない。これで本当の意味でカラが破れるんじゃないかと思うんですがね。例えば集中豪雪とか、集中豪雨の研究をやってみてどうだったんですか」

C 「たとえば GARP なんかも、あれでお金が出るから今までやりたいと思っていた事をやって終るといいうのではもったいない気がする。それも悪いとはいわんですけど、それ以外にもせめて、一部でもみんなが本気になって、これを機会に改めて新しい事をやり出す。そんな事がどれ位出来るかが問題だと思うんですよ」

A 「非常に問題ですね。70年代の気象学を考える場合に、GARP を抜きにしては考えられない」

D 「たとえば cumulus dynamics にしても、自分はダイナミクスだからクラウドフィジックスの人に入ってこれ、それで一語にやりましょうといっても、これはやっぱり無理じゃないかと思う。cumulus dynamics をやろうと思えば、今までダイナミクスをやっていた人が本当に自分でクラウドフィジックスをやらないと駄目なんです。クラウドフィジックスの人がダイナミクスをやらないと一語にやるといっても——」

C 「Dさんのいわれた通り、共同研究といいますが二つの顔を並べたんじゃない融合は悪いですからやっぱり新しく創造的な仕事というのは、誰かが間に入って両方

をかき混ぜた格好でやってかなきゃ駄目だと思います。そういうのが何人かいるとおのずから壁がとれてくるんじゃないんですかね」

C 「増えつつあるのならば良いのですが、それぞれの分野で育った、悪く云うと次の世代の人の育成もその型に都合の良い様な人間を作ってしまう。両方にまたがるよりも、自分のところに入る人間をどうしても教育としてはやり易いですがね」

F 「さっき私が申し上げたのもそういう意味なんです。大気電気という奴は終始継子で過してきた。実はどうしようもないというせっぱつまったどたん場に追い込まれますと、関連分野のことを考えざるを得ない」

C 「教育としては、理論もダイナミクスも全部含んだようなものになるわけですよ。次の世代として若い研究者は如何にあるべきかになるんですが、どういうタイプの人間が最も望まれるのか、スペシャリストなのか、オーガナイザーというか、間の境界領域をやる様な」

2-2 関連分野の溝をどうして埋めるか

司会 「話は変わりますが、1970年代の大気大循環の数値実験あるいはもっと広く理論的研究をどういうふうに進めるかという問題が出てくるわけですよ。やる場合どういうやり方をすればよいのか」

A 「日本の場合経済的状况とか色々の条件でしばられるわけですが、一方アメリカの場合、あんまり計算機を走らせるのに忙しくて、結果をゆっくり見ている暇がないんじゃないかと思われる。そこが一つねらいどころじゃないか。我々はアメリカのような大がかりな事は出来ないけれど、ある特別な問題に関して掘り下げるといふ事はできるんじゃないかと思う」

C 「そのためには、お互いに刺激を上手にとりあわんといかん。交換しないといけないでしょうね。その意味からいうと気象学会のシンポジウムなんか、本来はその役目を果して欲しいんだけど、うまくかみ合わないんですね」

D 「コレクションですね」

I 「そうなんです、それもしゃべるだけでね」

H 「現在の分野はいろいろ分れてますね。これがやっぱり一番いい分け方であって必然性があつたものなんですかね」

A 「必然性はあつたと思うんですがね」

I 「気象学の場合はやっぱりごたごたした要素があ

るものですからね、ものを見る時に現象というか対象を相手にものを見る場合とそれを処理してゆく手法によってみる場合と色々あるわけですよ、いわばその座標の中の一点として各々の仕事の一つになるわけです。そういう目でもう一回よく見直してみると、確かにそういう現象に対してはこういうアプローチが可能だという欠ける面がまだいくつかあるんじゃないんですか」

A 「位置づけですね」

C 「こういうことこそ、かなりディスカッションしていいと僕は思うんです」

D 「シビアーにやっていくということですね」

C 「そうです。それはね、決して縄ばりとかいう問題じゃあなくて」

司会 「今日議論の一つの中心になった、例えば、ラージスケール、積雲、雲、それから乱流ですね。その関連性はもうかなり要求されるとこまできている。例えば、大循環、数値実験にしる、その中で扱われている積雲及び水滴というのは、例えばそれは単なる熱放出のパラメーターだけであったり、あるいはアジャストメントというものだけであったりするわけですね。決してそこにはその雲の立体的イメージがないわけですよ」

A 「数値予報にしても、雨っていうものが一体どういう物理的な機構で降っているのか非常に気になりますね、よくわからないんです」

A 「予報の話が全然ないんですけど、予報はやっぱりその辺と関係してくるんじゃないんですか。実際我々が予報しているわけでしょう。気象学において予報とは何かという問題なんですけどね」

H 「予報というのはね、今だにやっぱり科学的にっていうには余りにも素朴な体制だと思います。天気図は一つの手段にすぎませんし、今まで予報に役立つ観測っていうのは余りしてなかったと思うんです。当面は予報よりも天気を物理的に理解する程度は大いに進歩すると期待できますが70年代の終りになっても、天気予報の精度っていうか、そういうものはあまり期待できないような気がするんです。アンダースタンディングと予報の間には次元の違うものがあるのです。それを理解しないと見当違いの批判を予報官にぶっつけることになる」

2-3 研究の組織化はむずかしい

F 「プロジェクトを進めていくにしてもオーガナイザーは単に事務的なものではない。指導的な立場の人が後半世をかけるという意気込みで冒険してみても

うですか、それ位の意気込みでないと革命が出てこないと思います」

C 「ある意味でお互いに乱戦ではないが、今までのは抜きにして冒険を求めて仕事をかえていかねば駄目ということですね」

B 「意外に大きいことをやろうとしても出来るものではない、外国のことはよく知らないが、大学院とか研究養成機関ではあまり組織することを実践としてやらない。一人で頭の中で考えてやるか指導に従順にやるかして、少なくとも二人以上組織してやることに馴れていない。だからそのような能力はいつまでたっても育たない。ここに来てやろうとしても本当に皆の自発的意見を集めて実行することは出来ない。若い人はそういう場をつくらないですね。今の体制では、逆にいわれたことを従順にやるが自分一人では出てこない。昔はあまりいわなかったのでそれなりに自分一人で自主性を持っていた。今は教育不在というか、教育過剰になっている。このことは単に従順であるということで組織ではない。若い時から始めていないと後半をかけてみても無駄でしょう。後輩には、今までのやり方で行った方がいいといえますよ」

I 「結局そういってしまうと身も蓋もないかもしれないが、研究者の数が少ないのです。本当の新米か、あるいは少しやれば専門家みたいになってしまう。本当に一匹狼がうようよしている感じがしない。だから逆説的にいえば組織云々という以前に基本を身につけるため暗中模索するフリーな時間をもってこそはじめて組織という意味が出てくる。皆少しやれば、ある部分で固定してしまい、専門家面をし、周囲も認めてしまう」

F 「そのような状態であることに気がつかないのかも知れない。行きづまりを感じてないからこそこの殻に閉じこもっていられるのです」

B 「それが70年代の10年間にはそういった問題は当然考えられなくなる。そうでないとどうにもならなくなってくる」

H 「結論として70年代は希望が持てるといえましょうか、各分野の発展段階を見てみると60年代を繰り返すことはないと思いますが」

C 「お言葉を返すようだが、雲物理なんかは、次の研究規模へ進めなかったら、60年代より70年代の方がもっときつくなる気がする」

E 「70年代は希望が持てるかどうかと本当に議論するには研究体制とかプロジェクトをどうするかという話

しをしなければならぬだろう」

C 「数値実験なんかについても先ほどの話のようにもっと進んでくれば、今よりも深刻な落差を味わわなければならない可能性が多分にある。だから気象学に期待がもてるということ、日本の気象学界に期待がもてるということとは別の事でしょう。条件がよくなるといくらでも伸びて観測をすれば必ずテーマが出てくる。しかし今までは観測も実験もいわば、家内工業的で何とかやってきたがプロジェクトが大きくなると、そうは行かなくなってくる。アメリカあたりではもっと大規模なわけです。日本も中小企業位までのところはよいが、それ以上になるとたちうちできなくなってしまう。その辺のところが難しいと思う」

D 「観測だけでなくデータ処理についても大企業化され電子計算機をフルに活用して行っている。例えば、レーダ観測資料もそのエコーをデジタル化してどんどん処理している」

C 「研究のための設備投資がよく行われれば、70年代には、希望が出てくるだろう。しかし設備投資が少なければ60年代より苦しくなるような気がする。気象事業に対する設備投資はかなり行われたが、研究に対する設備投資はどの位行われたかと考えると疑問である」

D 「研究の組織化が日本は非常にまずくトレーニングされていない。一種の産業革命みたいなもので如何に近代化するかというのがこれからの課題でもあろう」

I 「仕事の価値を考えた場合、例えばシノプティックをとり上げてみよう。初期だと天気図1枚書いてもそれ自体に価値があった。少し進むとタイムセクションが加わり、次に統計を導入する。それも10年間の資料を用いるなど次第にエスカレートし、その労力は恐らく対数的に増大するだろう。観測の方も室内実験でカバー出来なくなり、飛行機を使うようになるという具合に、一人の人間が手で必死にやっている限界が出来ているような気がする」

C 「雲物理の分野では、家内工業的な研究、実験までは大学で出来たけれど、飛行機をもったりして組織的にやるには大学では無理です。アメリカのような大学連合も日本では出来ないでしょう。そこで大気科学研究所という計画が出てくるのです」

I 「仕事の性質として、コロンブスの卵的な事だけをねらって行く人も必要だが、総合的にじっくりやることも必要で、両面がいるわけです」

D 「日本の電子計算機産業は恐らくアメリカに次い

で二位で世界的には高く評価されている。しかし数が沢山あるのに思うように使われていない。使い方が下手なのでですね。一日3シフトが理想なのにフルに使っていないということもある。しかし大学関係を見ると絶対数が少ないともいえます」

2-4 これから何をめざすべきか

F 「今日は各分野間のリンクの話が中心となった様で、大切なことではあるでしょう。しかしリンクがとれなかった場合の目標などが出るとよかったと思う」

D 「convection の場合も具体的な問題が提起されて出て来たのだが、モイストコンベクションをやってみると難しく、観測の方からも何も出て来ない。それに対してドライの方は流体力学で割にシンプルなので結果がきれいに出る。だからそちらに力が分散して、気象本来の要求から離れてしまう。これも長い目で見ればロスではないのだろうか」

C 「気象学全体から見て、他の分野の人がなだれこんで来たことがありますか。例えば飛行機の連中が乱流に入ってきたと同様に数学の連中が流体は俺達やるんだといってなだれこんでくるような形はないのですか」

A 「そのようなことはなく、ポツポツ入ってはきました」

I 「力学でも例えば不安定理論というのが、本当の意味で流体力学的な或いは数学的な背景をつくるころまでいっているかどうかは疑問です。なまじ自然現象から離れてくると理論的だけではいけなくなってくる」

A 「我々のやっていることは回転流体力学であり、それとしての面白さはあるが、やはり気象に戻るより仕方がないと思う。回転流体の方にそのまま行ってしまう人もあるが日本人では非常に少ない」

I 「今年の春の学会で、理論、あるいは基礎的な実験としての対流理論に対し、その講演の一つ一つにそれは気象現象とどう関係があるかと質問していた方がいらした。これは理論的なことをやる人と実際のなことをやる人と別々だからだと思います」

F 「日本では飛行機がほとんど使えないとか、研究体制がこのようであるとかいう独特の事情がある。その状況の中でアメリカのまね事をしてもらえなくてもない時、日本の気象学の一番能率良い進め方や分野はどんなのがあるだろうかという議論は無意味だろうか」

A 「システム工学的に考えて、日本の気象学がみなバクチをしたら大変である。アメリカというポテンシャ

リティのある大国の存在を意識して、日本の気象学を考える見方が一つだろう。また外国で出来なくて日本で出来るという、日本の特技を生かすことですね。例えば、観測にしても、モデルにしても、アメリカでやったというのをふまえて逆にこちらの予定を組むことはあり得るだろう」

F 「はっきりした形ではないが、皆が一人一人考えていることでしょう」

C 「オリジナリティで勝負しようという方針を立てて、世界で誰もやっていないことばかりをやる。そのうちの何人かが成功しても、世界の気象学に貢献するともいえるでしょう」

B 「計算機が使えないとか、研究体制が悪いとかいう現状ばかりを考えるからいけない。計算機がどうしてもいるんだとか、体制はこうしなければならないということを出してこないから、日本の特質が出てこないのだ」

A 「だし方は難かしいだろう。だから今まで安全コースばかりやってきたわけですね」

I 「例えば10年以上前数値予報を日本で実際にははじめたころは外国でやらないことを狙ってやられたと聞きます。それで成功したわけですが、ある段階で基礎的なものが欠けていたのでマイナスになったという話も聞いています。基礎的なものというのは数値予報のバックグラウンドとなるフィジカルベースから始まり、地衡風、プリミティブに移る理論のことでこれが日本に定着していたかということです」

A 「今から考えると悪くいえば個性が出たという感じですね。70年代はそうではなくて、ベースを固めていくということでしょう」

I 「ひとりの大学院の教育を考えてみると、ベース抜きに何かやれという雰囲気があった。今はその反動として割合にベースをちゃんとやるという風になっているのでその中でこのびのびと個性が出れば本物といえるでしょう」

E 「私は数値予報についてはよく知らないけれど、確か55年頃に数値予報グループが相当の意気込みで、かなり組織的に数値予報のテーマに取込んで行った。そしてその頃何でも集中的にやっていた時代に最大の能力を発揮していた。今はそれがルーチン化されて特に目立たなくなりましたが、日本の気象学会にも、そういういい前例があるのです」

A 「日本では伝統という流れというか、基礎をやるというのが少ないような気がします」

I 「やっぱり再生産をしてゆくベースを固めてゆく作業と、その中から頭を出して行くものと両方が必要なのだと思います」

A 「有能な方々が多かったのである程度のロケットのように打上ったのだと思います」

I 「今から考えると一人一人は非常に良い仕事をされたが、ベースとしての力学としては、いいかげんの議論をしていたわけです。理屈抜きの以心伝心的な方法にもやっぱり限界があるので、やはり基礎を固めることは大切です」

司会 「今夜は、どうも貴重なお話を長時間にわたってありがとうございました」

この座談会の原稿整理にあたっては、内田紘子、月田秀夫、鈴木徹、大島（以上気象研究所）、松下真（気象庁予報部）の各氏に多大の労をわずらわした。記して感謝の意を表します。
(編集委員会)

正誤表 Vol. 16, No. 12 の口絵写真および「故 正野教授を悼む」の中で、故 正野重方教授(1901~1969)は(1911~1969)の誤り。また文中上から8行目、「興味は気象台にうつり」は「気象学」の誤り。謹んで訂正致します。