

「境界層と乱れの国際シンポジウム」* 報告

小 倉 義 光**

1. 会議の性格

1966年9月19日から22日まで、「地球物理学的应用を含んだ境界層と乱れの国際シンポジウム」が京都で開かれた。これは IUGG と IUTAM*** の共催したもので、国際組織委員会の委員は、谷一郎(委員長)、Bowden, Frenkiel, Oboukhov, Priestley, 正野重方(ex-officio, 国内準備委員長), Görtler, Kovaszny, Loitsianski であった。

このシンポジウムの目的は、境界層及びその他の乱流のメカニズムに関するわれわれの理解を深めることであつた。従つて中心課題は乱流境界層の物理過程、特にその微細構造である。それに附随して、境界層及びその他シアのある流れの安定性及び遷移の問題、乱流拡散、大気と海洋の相互作用などが含まれた。会の方針として、実用的応用または充分吟味されていない観測データにとどまるものは採らなかつた。

もちろん乱れといっても範囲は極めて広い。限られた日数でその総てを議論することは到底できないので、初めから高速流体やプラズマは除かれた。また大気中の乱れについても、主として大気境界層から対流圏及び成層圏内の乱れに限り、中間圏や電離圏は除外された。

参加者はすべて国際組織委員会の招待者に限られ、日本から約30名、外国から約100名であつた。その中には、アメリカから58名、英国から10名、ドイツから9名、ソ連から5名等がふくまれている。出席者の顔ぶれは最後にあげてある。

発表された論文数は、40分の招待講演が7、30分の講演が16、10分足らずの講演が約65、その他フィルムによる論文提出が数個であつた。筆者も今回のプログラム作製のお手伝いをしたわけであるが、実をいえば論文提出希望が予想外に多く、やむなく、ある session では1時

間40分に10の論文提出ということになつてしまった。やはりこの点だけは、ある人々にとっては心残りだったようである。

2. 会議の中心課題

会議の内容は近く Proceedings が Physics of Fluids の特集号として出版されるはずであるから、ここでは極く概略だけを述べよう。まず会議の中心課題は、下記の7つの招待講演の表題からもうがえるであろう。

H. Görtler and W. Velte: Some general aspects of recent mathematically rigorous treatments of laminar flow and transition problems.

I. Tani: A review of some experimental results on boundary-layer transition.

R. Betchov: A review of Kraichnans theory of turbulence.

A. S. Monin (代読): Turbulence in the atmospheric boundary layer.

C. H. Priestley: Handover in scale of momentum flux, heat flux, etc. in the atmospheric boundary layer.

L. S. G. Kovaszny: Structure of the turbulent boundary layer.

R. W. Stewart: Mechanics of air-water interface.

特に二、三印象に残つたものについて述べれば、層流の安定性あるいは遷移の問題は、Orr-Sommerfeld の線型方程式の段階をのりこえて、非線型の領域に入り、実験的にも1962年頃から急速な進展が見られている。今回も Komoda は熱線風速計により、Hama は水素気泡法によって、二次元の線型不安定波が三次元的な eddy に発達していく様子を詳細に調べている。

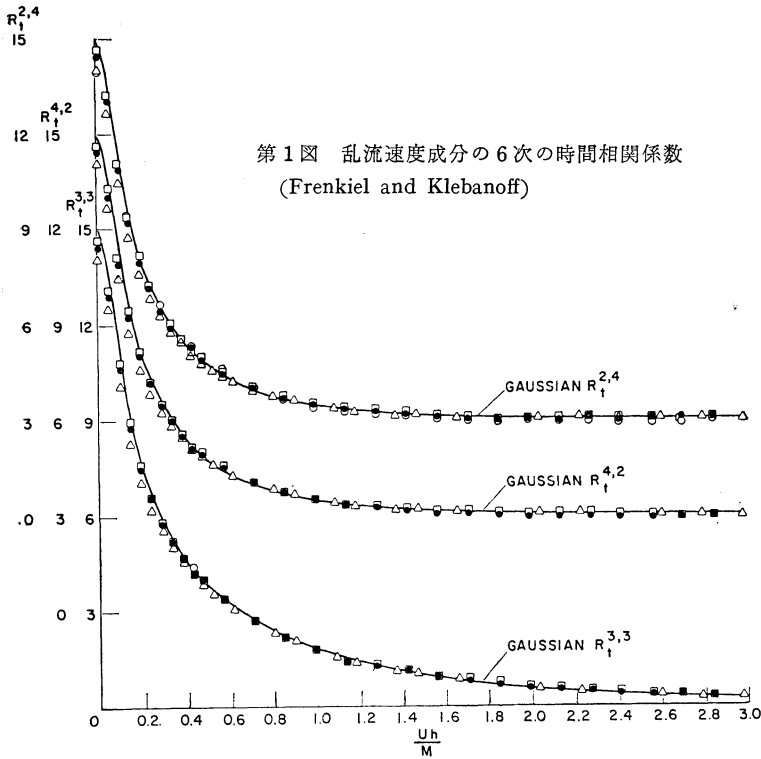
また乱れの構造については、Frenkiel と Klebanoff による乱流速度の高次相関函数の実験的研究が目立った。乱流速度の joint probability density distribution がガウス分布にしたがうとすると、四次相関と二次相関の間に関係式が導かれ、従来の実験結果はその関係式を満足しているように見えた。一方筆者らが乱れの減衰をこの仮定を用いて電子計算機で数値的に調べた結果で

* International Symposium on Boundary Layers and Turbulence including Geophysical Applications

** Y. Ogura 東京大学海洋研究所

*** International Union of Theoretical and Applied Mechanics

—1967年6月26日受理—

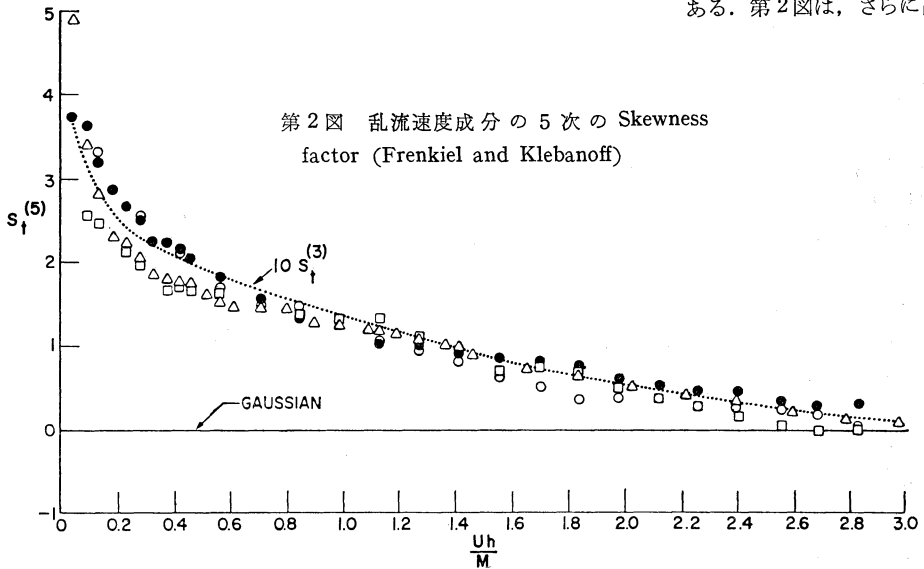


第1図 乱流速度成分の6次の時間相関係数 (Frenkiel and Klebanoff)

録計におさめ、それぞれ約 12.5 秒間の記録を 1/12,800 秒毎に A-D 変換機で digitize し、この 160,020 個のデータを電子計算機で処理するという詳細なものである。その結果の一例は第1図と第2図に示してある。第1図でUは一般流の速度、hは時間相関係数における時間のおくれ、Mは格子間隔、Rは一般流の方向の乱流速度成分の時間相関係数

$$R_t^{m,n} = \frac{u^m(t)u^n(t+h)}{[u^2(t)]^{\frac{m+n}{2}}}$$

である。この図で見る通り、偶数次 (n+m=偶数) の相関に関しては、6次という高次の相関についても、ガウス分布として低次の相関から計算したものと近似的に一致している。ところが奇数次の相関はガウス分布では0であるべきだが、実際の乱れではそうでないことは、たとえば三次の相関の実測によってすでに周知のことである。第2図は、さらに高次の相



第2図 乱流速度成分の5次のSkewness factor (Frenkiel and Klebanoff)

は、ガウス分布は矛盾した結果を生み出してしまふ。Frenkiel と Klebanoff の研究は、風洞気流の格子の後の乱れについて、熱線風線速計の電圧を磁気テープの記

関について、そのことを示した一例で

$$S_t^{(n)} = \frac{[u'(t+h) - u'(t)]^n}{\{[u'(t+h) - u'(t)]^2\}^{n/2}}$$

ある。Frenkiel らは non-Gaussian の分布として、或る分布を提案しているが、その分布に基いて低次の $S^{(3)}$ から $S^{(5)}$ を計算した結果も図に記入してある。

乱れの統計的性質というとき、これまでは主としてパワー・スペクトラムや二次相関函数が論ぜられてきた。しかし、乱れの構造やそれに働いている力学的過程を知るためには、もつと高次の相関函数の知識が必要なことはいままでもない。この意味で Frenkiel と Klebanoff の研究は高く評価されるべきであろう。

IUGG と IUTAM の共催する今回の会議の目的の一つは流体力学、気象学、海洋学等の専門家を一堂に集め、お互いの中で啓蒙し合い、また共通の問題を討論することであった。その点で筆者などは上述の遷移の問題や乱れの精密な測定、その他境界層、伴流・自由噴流での乱流の微細構造の測定など、多くの仕事に接して刺激されるところが大であった。また一方、流体力学の専門家の方も、エクマン境界の安定性についての実験的理論的研究や、安定成層をもつ流体中の乱れなどに興味をもたれたようである。

同じ IUGG と IUTAM の共催によるシンポジウムは過去に 2 回開かれている。最初は 1958 年 8 月、英国の oxford で開かれ、主題は「大気拡散と大気汚染」であった。第 2 回はフランスの Marseille で 1961 年 9 月に「乱れの基礎問題と地球物理学との関係についてのシンポジウム」として開かれた。この会議に先立って、ちょうど同地に設立された乱流研究所の開所式を記念して、乱れのメカニズムに関する国際コロキウムが 6 日間にわたって開かれた。

筆者は幸に前 2 回の会議にも出席することができたが、それにつけても痛感されるのは、こうした流体力学やさんと気象やさんの交流である。大きな国際会議でなくても、アメリカなどでは国内的によく交流が行われていると思う。日本でも「風に関するシンポジウム」があるが、これは建築学会や土木学会や地理学会までふくめて、範囲がある意味で極めて広い割に、会期はわずか 1 日である。アメリカのは、物理学会と気象学会の共催で、主題も純然と基礎的な流体力学に限り、工学的なあるいは応用科学的なものとは全く含まなかったのに、会期は数日であった。

殊に筆者にとって有益だったのは、MIT とハーバート大学とウッツホール海洋研究所の三つでやっていたコロキウムであった。これは定期的に二週間に一度ずつ、会場まわりもちで開かれる。たいいてい午後 3 時頃から 6 時頃まで誰かが自分のやっていることの紹介と充分な討

論から成る。終るとカクテルを飲んでから夕食を共にするというものであった。出席者も、MIT の気象学教室から、Charney, Phillips, Lorenz, Hide, Stommel, Veronis 等、数学教室からは、Lin, Greenspan, Benny 等、ハーバート大学からは Carrier, Robinson 等、それにウッツホール海洋研究所の海洋物理学者や大学院学生も加わって、いつも 30 名から 50 名くらいの賑やかさであった。気象力学や海洋力学は、それがしつかりした流体力学の基礎づけを持っている以上は、流体力学の専門家にとっても充分興味あるものであろう。また流体力学専門家の研究の研究対象や方法論は、私達にとっても直接役にもたつし、刺激にもなることであった。

3. その他

会場は京都の国際会館であった。筆者はこの会場は初めてであったが、この種の国際学術会議を開くには誠によくできていると思われた。主会場のホールは手頃な広さで、気持よいものであったし、それに隣接して、数個の部室が、国際組織委員会用、国内組織委員会用、案内係用等に確保できていたのも便利であった。また広いロビーも利用できるのも、tea break の時間がすぎても、熱心に討論する姿も見られた。

会議の運営も、筆者のせまい経験から見ても最高のものであった。マイクやスライド映写など、こまごましたことまでがすべてスムーズに動いていった運営ぶりは、全出席者が賞讃したことであった。この立派な会議を開いて下さった全関係者、特に地元京都の委員の方に、この機会に厚くお礼を申しあげたい。

最後に、本誌の初めにあげた写真は、9 月 19 日の昼休みにとった参加者の記念写真である。東大理学部物理学教室の宗像俊則氏が非常な努力の末、次のリストに記すように全員の identification をされた。ただしこのリストには傍聴者の氏名は省略してある。また括弧内の A, I, D, S, C, O, S, I, S, O, R, A, N, Y, B, はそれぞれアメリカ、イギリス、ドイツ、ソ連、フランス、カナダ、オーストラリア、スウェーデン、イスラエル、オランダ、ニュージーランド、ベルギーの略である。

会議参加者のうちで、たまたまこの写真撮影の際にいらっしやなかった方の氏名は次の通りである。

H. Charnock (イ), J. W. Deardorff (ア), A. Favre (フ), R. D. Fletcher (ア), 連水頌一郎, 今井功, J. Kampé de Fariet (フ), J. Kaplan (ア), 桑原真二, J. L. Lumley (ア), R. S. Scorer (イ), R. W. Stewart (カ), P. Welander (ス)。