

理学博士玉田琬君の「翼を過ぎる遷音速の流れならびに関連する

問題の理論的研究」に対する授賞審査要旨

玉田琬君の研究は流体力学の広い領域にわたるが、その初期の研究は遷音速における翼の理論である。玉田君が大学を卒業した一九四〇年代の始めは、飛行機の最高速度が音速の三分の二を越え、空気の圧縮性の影響が困難な問題を提起した時期であった。飛行機の速度が音速以下であっても、翼やプロペラのまわりには音速を越える流れが現われ、それが音速以下に戻るとき不連続的な衝撃波を伴うことが多く、そのために抵抗が増し揚力が減るなど性能が低下し、飛行の安全の脅かされる事例が増しつつあった。数学的に言えば、音速以下の流れは楕円型偏微分方程式、音速以上の流れは双曲型偏微分方程式で支配されるが、遷音速では両者が共存して方程式は混合型となり、しかも非線型であって取扱いがむずかしく、衝撃波の不連続を伴わない流れが実現し得るか否かは明らかでなかった。当時の解析の主流は、低速の流れからの摂動による解法で占められたが、玉田君はそれが遷音速で無力になることを洞察するとともに、新しく遷音速近似として、流れの速度が至るところ音速に近いという単純化仮定を導入し、一つの普遍的な非線型方程式に到達した。そしてこの方程式が特殊の変換によって常微分方程式に帰着される場合があり、しかもその解がラバール管の中の流れを表わし得ることを見いだした。ラバール管は超音速気流を作るのに用いられる収束拡大管で、この解は混合型の連続的な流れを具体的に提示し、遷音速の流れの本質の解明に貢献するものであった。

玉田君はこの研究で、一九四六年に学位を受けるのであるが、基底となった遷音速近似の概念は、その翌年にフォン・カルマンが有名な遷音速相似則を導くのに用いたものと同じである。学位論文の内容は後に米國で刊行された撰集『高速空気力学の基礎』⁽⁴⁾の一九論文の一つに選ばれている。

玉田君はさらに進んで、遷音速近似方程式にホドグラフ変換を施し、もっとも単純な混合型線型偏微分方程式を導いた。ホドグラフ変換による線型化は古くから知られていたけれども、一様な流れが物体を過ぎるような問題では、一様な流れに対応する特異点が現われ、満足な解を得ることができない。玉田君は遷音速近似によって問題を単純にするとともに、特異点を持つ閉じた形の解を発見し、物体のまわりの流れを構成することに成功した。そして流れが局所的に音速を越えても、衝撃波を伴わない連続的な流れが存在し得ることを示した。これは今日の『超臨界翼型』に、はじめて肯定的予言を与えるものであった。なお遷音速近似は、ホドグラフ平面における支配方程式の係数の接近近似に相当するが、さらに玉田君は速度ゼロから遷音速領域までこの係数を良く近似し、しかも特異解を合成して必要な特異性を具備する解を閉じた形で求めることによって、特殊な翼型のまわりの流れを具体的に計算している。翼型のまわりの超音速領域を含む流れが、数学的疑点なしに計算された最初の例である。この翼型は玉田翼として広く知られ、風洞による実験も行なわれ、理論的な予測が現実確かめられた。今日の『超臨界翼型』の設計に用いられる計算も、玉田君がさらに厳密な解法を目指して試みた級数解の解析接続と、本質において異なるところがなく、玉田君の遷音速理論は内外の研究者に刺激を与え、軸対称の流れ、縦粘性、衝撃波、化学反応などを伴う流れへの拡張が行なわれ、今日に至るまで継続している。玉田君自身も宇宙開発、核融合、高率

発電などに関連して注目された電磁流体力学に関心を寄せ、特に平行磁場を伴う流れに上記の研究を拡張して、多くの興味ある結果を導いたばかりでなく、強い磁場で弱い電導性の流体中に置かれた物体の下流に非拡散渦伴流の伸びること、電導性流体中に置かれた帯磁球のまわりに広い凍結域の発生することなど、注目すべき新しい現象の予言を行なっている。

これと並行して玉田君の研究は、円柱平面格子や柱体群を過ぎる粘性流体の遅い流れの近似解、平面壁に斜めに当たる淀み流れの厳密解、または液滴、斜面水波、旗の振動などの身边現象の解明にも成果を挙げて来たが、近年は宇宙空間飛行や真空技術と不可分の希薄気体の力学的挙動に関心が集中している。

玉田君はまず淀み点の近くの希薄気体の流れを採りあげ、流速が音速に比べて小さいとして、分子の速度分布を支配するボルツマン方程式を線型化した。固体壁に接する非平衡領域と外側の準平衡連続体的領域の取扱いに流体力学の境界層概念を導入し、流れの構造を明らかにするとともに、気体から温度の高い壁にエネルギーの流れる特異な現象を発見した。次に円柱を過ぎる同様の流れで、分子の平均自由行路と円柱半径の比を表わすクヌーセン数が小さい場合に、境界層的解法で円柱の抵抗を求め、実験とよく一致する結果を得た。これらの成果は高い評価を受け、例えばパターソンの近著『気体の流れの分子運動論入門』⁽²⁾にそのまま収録されている。その後玉田君は、クヌーセン数無限大の極限にあたる自由分子流の解析解を求め、摂動法によってその補正項を定め、上記の結果と併せて、クヌーセン数の全域にわたる円柱の抵抗を把握することができた。このような連続体の流れから自由分子流への遷移の理解によって、流体力学と分子運動論が理論的にはじめて接合されるわけである。なお光を放射吸収する気体の流れは、光

子を分子のように考えて、分子運動論と平行に論ずることができる。玉田君は温度分布に微小飛躍のある無限平面壁に境された放射性気体の温度場の解析を行ない、飛躍点の近くの温度場の構造を明らかにしたが、これは二次元非平衡場について、気体論的解析が遂行された唯一の例である。

以上のように、玉田君の研究は遷音速翼理論、電磁流体力学、希薄気体力学など、航空および宇宙航行の発達に伴う新しい現象に対し、鋭い直観と卓抜の解析によって解明を与え、将来の展開に的確な予測を供したものと云うことができる。その成果は国際的に高く評価されるばかりでなく、先人未踏の知見として永く称えられるべきものと思われ。

- (1) Foundations of High Speed Aerodynamics, edited by G. F. Carrier, pp. 243-259. Dover Publications, Inc., New York, 1951.
- (2) G. N. Patterson, Introduction to the Kinetic Theory of Gas Flows, pp. 236-246, 268-284. University of Toronto Press, Toronto, 1971.

一、主要な論文目録

1. Ko Tamada: On the flow of a compressible fluid past a sphere. Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **21**, 743-752 (1939).
2. Ko Tamada: Application of the hodograph method to the flow of a compressible fluid past a circular cylinder. Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **22**, 208-219 (1940).
3. Susumu Tomotika and Ko Tamada: Studies on the subsonic flow of a compressible fluid past an elliptic cylinder. Rep. Aero. Res. Inst., Tokyo Imp. Univ., No. 201 (1940).

4. 玉田 琮 気体の概等速二次元流に関する研究、特に種々の噴出管内の流れに就て、京都大学理学部友近研究室研究速報第一号(一九四七); 数理物理学研究 1, 56-80 (1950), 岩波書店
5. 玉田 琮 気体の概等速二次元流に関する研究、特に或る種の混合型偏微分方程式の解の特異点に就て、京都大学理学部友近研究室研究速報第七号(1947); 数理物理学研究 1, 81-92 (1950), 岩波書店
6. 玉田 琮 近似的な断熱法則に従う気体の二次元運動、特に Taylor の問題に就つて、京都大学理学部友近研究室研究速報第一一号(1947); 数理物理学研究 2, 107-124 (1952), 岩波書店
7. Ko Tamada: On the hodograph method and analytic continuation of solution in the theory of compressible fluid flow. Mem. Coll. Sci., Kyoto Univ., Ser. A 26, 21-30 (1950).
8. 玉田 琮 超音速で動く円柱及び球の前方衝撃波について、京都大学理学部友近研究室研究速報第二五号(1950).
9. Ko Tamada: On the detachment of shock wave from the leading edge of a finite wedge. J. Phys. Soc. Japan 8, 242-247 (1953).
10. Ko Tamada: On the flow of a viscous fluid past a cylindrical body at low Reynolds numbers. Proc. 9th Int. Congr. Appl. Mech., Brussels (1957).
11. Ko Tamada and Hiroomi Fujikawa: The steady flow of viscous fluid at low Reynolds numbers passing obliquely through a plane grid made of equal parallel circular cylinders. J. Phys. Soc. Japan 14, 202-216 (1959).
12. Ko Tamada and Yoshio Shibaoka: On the pendent drop, I. J. Phys. Soc. Japan 16, 1249-1252 (1961).
13. Ko Tamada and Tosio Miyagi: Laminar viscous flow past a flat plate set normal to the stream, with special reference to high Reynolds numbers. J. Phys. Soc. Japan 17, 373-390 (1962).

14. Ko Tamada: Flow of a slightly conducting fluid past a circular cylinder with strong, aligned magnetic field. *Phys. Fluids* **5**, 817-823 (1962).
15. Ko Tamada: Transonic flow of a perfectly conducting gas with aligned magnetic field. *Phys. Fluids* **5**, 871-878 (1962).
16. Ko Tamada: On the distortion of a weak magnetic field by the flow of conducting fluid past a cylindrical obstacle. *J. Phys. Soc. Japan* **19**, 1415-1422 (1964).
17. Ko Tamada and Yoshio Sone: On the flow of viscous conducting fluid past a magnetized sphere. *J. Phys. Soc. Japan* **19**, 1422-1429 (1964).
18. Ko Tamada and Yoshio Sone: Some studies on rarefied gas flows. *J. Phys. Soc. Japan* **21**, 1439-1445 (1966).
19. Richard Seebass, Ko Tamada and Tosio Miyagi: Oseen flow past a finite flat plate. *Phys. Fluids* **9**, 1697-1703 (1966).
20. Ko Tamada: Stagnation-point flow of rarefied gas. *J. Phys. Soc. Japan* **22**, 1284-1295 (1967).
21. 玉田 謙¹ 山本恭二² 日往を過る極めて希薄な気体のせいの流れ¹ 京都大学工学部航空工学教室流体力学空気力学研究室研究速報第一九号 (1967).
22. Ko Tamada and Kyoji Yamamoto: Flow of rarefied gas past a circular cylinder at low Mach numbers. *Mem. Fac. Eng., Kyoto Univ.* **30**, 132-152 (1968).
23. Ko Tamada and Tosio Miyagi: Secondary flow around an oscillating cylinder. *J. Phys. Soc. Japan* **37**, 249-253 (1974).
24. Ko Tamada and Yasutoshi Inoue: Slip flow past an elliptic cylinder. *Trans. Japan Soc. Aeron. Space Sci.* **19**, 140-148 (1976).

44图

25. Ko Tamada and Hiroyuki Miura: Slip flow past a tangential flat plate at low Reynolds numbers. *J. Fluid Mech.* 85, 731-742 (1978).
26. Ko Tamada: Two-dimensional stagnation-point flow impinging obliquely on a plane wall. *J. Phys. Soc. Japan* 46, 310-311 (1979).