

シンポジウム参加報告 —乱流関連セッション—

Review of Turbulence Researches in the 18th CFD Symposium

半場 藤弘*

*東京大学生産技術研究所

Fujihiro Hamba

*University of Tokyo

E-mail:hamba@iis.u-tokyo.ac.jp

1 はじめに

第 18 回数値流体力学シンポジウムにおいて A 室で乱流一般、乱流 DNS、乱流 LES、乱流 DES/Hybrid のセッションが開かれた。乱流に関する研究はその他のセッションにも多く含まれるが、上記のセッションでは乱流の構造や統計的性質あるいは SGS モデリング、計算法などのテーマについて計 33 件の発表が行われた。本稿ではこれらの講演の中からいくつかのトピックスを紹介し感想を述べたいと思う。ただ著者が聞き逃した講演もいくつかあり、すべてを網羅したものではないことをご容赦願いたい。

2 DNS

DNS は 4 つのセッションで計 15 件の発表があった。DNS を用いて乱流の構造と統計を探る研究が活発に行われている。チャンネル乱流をはじめとする壁乱流 (A3-1, A3-2, A4-3) や一様等方性乱流の構造 (A3-3, A3-4) およびスカラー場の統計 (A4-2) などの発表があった。塚原ら (A3-1, Fig. 1) はチャンネル乱流で流体線を追跡し伸長率を求めた。一様等方性乱流で行われている流体線や流体面の解析を非一様乱流に拡張したものであり、今後壁乱流でどのような新しい知見が得られていくか興味深い。また相良ら (A4-1, Fig. 2) は一様等方性乱流に壁面を挿入し、壁面のブロック効果を考察した。一般に壁乱流では壁面近くで乱流エネルギーの各成分の非等方性が強くなる。これには剪断の効果と壁面のブロック効果が混在していると思わ

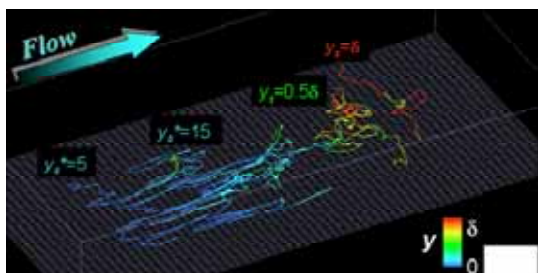


Fig.1 Temporal evolution of passive material lines in turbulent channel.

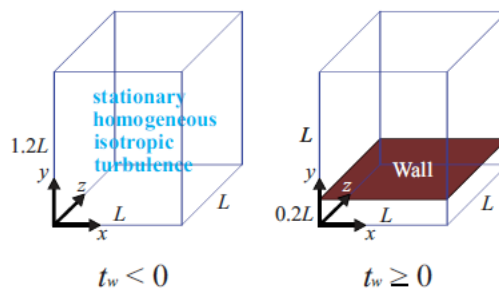


Fig.2 Schematic of the computational configuration.

れ、本研究は後者のみを取り出し考察できるという点で重要である。

また流路の回転や曲がり、旋回流の効果に着目した研究も目立った(A4-4, A5-1, A5-2, A5-3, RANS では A2-3)。大木ら(A5-1, Fig. 3)は円管内の流れに旋回を発生する体積力を導入し周期的な旋回流の計算を行った。軸方向に変化を伴う旋回流は軸付近で主流が凹んだり渦粘性が強く非等方になるなど興味深い性質がある。DNS により統計量が解析されメカニズムが解明されていくことが期待される。その他の DNS として MHD (A5-4) や圧縮性流れ (A6-1, A6-2) も行われている。

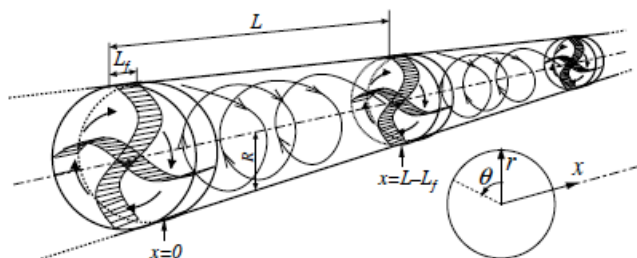


Fig. 3 Periodic swirling turbulent flow in a straight pipe.

3 LES

LES は 3 つのセッションにわたり 10 件の発表があった。SGS モデルの研究としてはダイナミックモデル以外の方法で、壁面減衰関数の必要のないモデルが提案・考察されているのが目を引いた(A8-1, A8-4)。ダイナミックモデルの特長の一つは壁面近くでアドホックな減衰関数が必要ないことであるが、安定に計算するには工夫も必要である。静的なモデルを改良することにより減衰関数を用いずに壁面近くの流れや層流と乱流の遷移などをとらえられれば計算の安定性や効率の点からも望ましい。また小林(A8-1, Fig. 4)は乱流の構造に着目して上記の SGS モデルを提案した。このように DNS で詳しく調べられている乱流構造の知見が SGS などのモデリングに生かす試みが増えることを期待したい。逆にモデリングに役立てるにはどのような構造や統計量を DNS で調べるかという観点も必要と思われる。

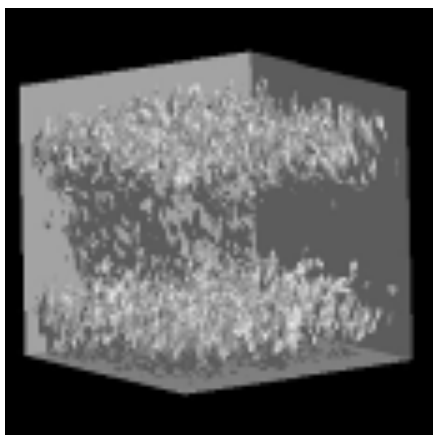


Fig. 4 Coherent structures with $Q=25000$ in turbulent channel flows.

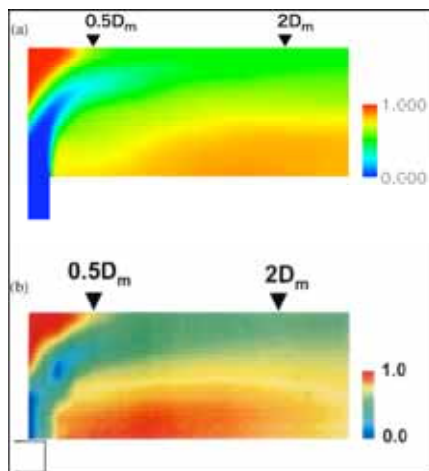


Fig. 5 Average temperature in $x = 0$ plane. (a) numerical simulation, (b) experiment.

チャンネル流のような単純な流れ場だけでなく応用にむけての LES の検証計算も行われている。例として開水路流れ (A7-5) や連続した直方体周りの流れ (A8-3) の発表がある。また戦略的基盤ソフトウェアのプロジェクトの発表が 3 件あった (A7-2, A7-3, A7-4)。例えば畝村ら (A7-4, Fig. 5) は T 字型配管の温度変動の計算を報告している。ユーザーが LES をツールとして設計開発を行うには信頼できる流体解析コードの開発が待たれる。これらの発表のようにシンポジウムにおいてコードの開発段階での成果と限界を知ることができるのは興味深い。

4 DES/Hybrid

今回のシンポジウムの乱流関連セッションの特徴として RANS がなくなり DES/Hybrid のセッションができた点が新しい。もちろん RANS を用いた応用計算は他のセッションで発表され、また DNS によるモデルの検証もあるが (A5-2)、以前とくらべて RANS のモデリングの発表が少なくなってきたことは否めない。モデルとして成熟しつつあることと RANS ではとらえきれない流れ場の非定常なふるまいは LES による解析へ移っているからだと思われる。一方 LES でも高レイノルズ数の壁面乱流を解くのは依然として困難であり、何らかの壁面のモデル化が必要となる。そこで壁から離れた領域では LES を、壁面近くでは RANS を用いるハイブリッド計算が最近注目されつつある。DES (Detached Eddy Simulation) はハイブリッド計算の代表的なものである。このセッションでは DES (A9-2, A9-3) とその他のハイブリッド計算 (A9-4, A9-5) 合わせて 4 件の発表があった。森下ら (A9-5, Fig. 6) は超音速主流と噴流の干渉について RANS、LES、ハイブリッドの 3 種類の計算を行った。ハイブリッド計算は RANS に比べてだけでなく、LES と比べても良い結果を示した。

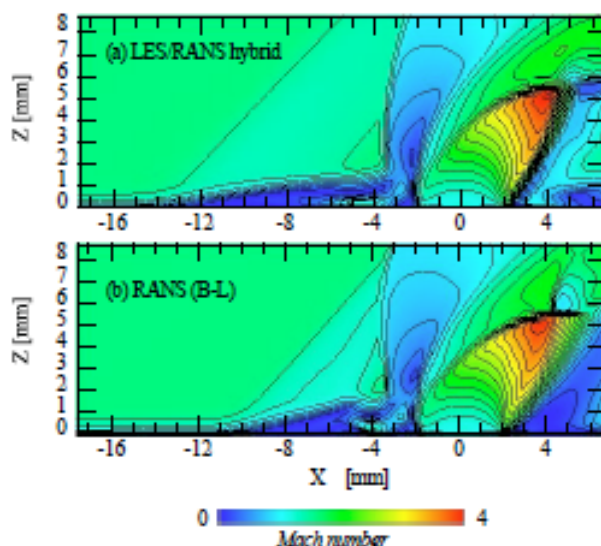


Fig. 6 Comparison of the Mach number contour around the jet hole for (a) LES/RANS hybrid and (b) RANS (Baldwin-Lomax).

5 おわりに

上記のトピックスの他に、LES のセッションで発表された陰的 LES というキーワードに興味をひかれた (A7-1)。SGS モデルの代わりに数値粘性を使って LES を行おうという試みであ

る。数値粘性については古くから議論がある。非圧縮性乱流を精密に計算する立場ではスペクトル法や中心差分を用い、格子を十分細かくとって DNS をするか SGS モデルを導入して LES を行う。一方、圧縮性の強く効く高速流では計算を安定に行うには何らかの数値粘性が必要であり誤差の少ない高次スキームが提案されている。両者の立場では議論がかみあわないこともあるが、Navier-Stokes 方程式に粘性効果を付加するという意味で SGS モデルと数値粘性を同じ土俵で議論できるといいと感じる。その上で、それぞれの数値計算の目標とする精度にもよるが、流れ場が精度良く予測できるか、きちんとエネルギーが散逸されているかなどを比較すればいい。

DNS、LES というセッション名は計算法による分類であり、これらを用いた研究は他のセッションでも多く発表されている。特に LES は音響、燃焼、大気などのセッションにも見られ、単純な流れの基礎研究から複雑現象・実用計算の段階へ展開していることがわかる。とはいえ、本シンポジウムの DNS、LES、ハイブリッドあるいは RANS のセッションは各分野の研究者が基礎研究を発表し議論と情報交換のできる場としてたいへん貴重であることにちがいはない。