

日本伝熱学会特定推進研究推進課題報告書

Report of Specific Promotion Researches in Heat Transfer Society of Japan

特定推進研究企画委員会

花村 克悟 (委員長・東京工業大学)

吉田 英生 (京都大学), 中山 恒 (名誉会員)

Specific Promotion Research Planning Committee

Katsunori HANAMURA (Chairperson, Tokyo Inst. Tech.)

Hideo Yoshida (Kyoto University)

Wataru NAKAYAMA (Honorary member)

1. はじめに

2012年に日本伝熱学会に設置されました特定推進研究企画委員会は、我が国の抱える科学技術的課題への対応や今後の発展に寄与すると考えられる研究開発課題を選定し、課題ごとに研究グループを設置して検討を進めてまいりました。特定推進研究課題として現在までに10件の課題が選定されています。このたび「気候モデルにおける重要要素に関する基礎的検討と非専門家への翻訳、さらにその予測精度の評価に向けた検討会」(主査: 吉田英生, 京都大学) および「将来世代コンピュータのための超長マイクロチャンネル冷却」(主査: 中山恒, 名誉会員) の2課題につきまして最終報告が提出されました。以下にこの課題のエグゼクティブサマリーを記載し、会員の皆様に検討結果の概要を紹介いたします。

2. 「気候モデルにおける重要要素に関する基礎的検討と非専門家への翻訳、さらにその予測精度の評価に向けた検討会」HTSJ-FY2017-05

主査: 吉田英生 (京都大学)

sakura@hideoyoshida.com

The Intergovernmental Panel on Climate Change (以下IPCC) のFifth Assessment Report (AR5) が2013年9月から発行されており、化石燃料の大量消費に伴って増加した大気中の二酸化炭素等により地球が温暖化していることはほぼ確実とされている。このIPCCの論拠の重要な柱となっている気候モデルは、太陽からのふく射をエネルギー源として、地球の海洋・大陸・大気中におけるさまざまな熱物質輸送過程をモデル化して総合した極めて複雑な数値シミュレーションコードである。気候モデルは気象

研究者の長年の努力により相当な精緻化が図られ、そのごく短いタイムスケールへの応用ともいえる日常の気象予報では精度よい予測が可能となっていることは日々実感することでもあるが、何十年というタイムスケールでの地球全体の物質およびエネルギー収支予測の精度については、科学的に不明な点も少なくない。

機械系に軸足を置く本会の大部分の会員の研究対象と比較すると、そのスケールと複雑さの相違は著しいが、現象の各要素や素過程はまさに本会会員の専門とするところでもある。そこで、気象学者にその検討を全面的に任せるのではなく、本会会員の視点から中立的な第三者としてメスを入れることは非常に重要であると考えられる。とはいっても、専門家自身にとっても困難な検討を本会員がいきなり試みるのが容易でないのは明白である。そこで、本研究の第一段階では本会委員が比較的取り組みやすいと考えられる要素に絞り込んで検討を行うことにした。

委員としては本会から主査の他に桑原不二朗 (静岡大学)、富村寿夫 (熊本大学)、村田章 (東京農工大学)、吉田篤正 (大阪府立大学)、さらにアドバイザー的な役割として外部から草野完也 (名古屋大学)、江守正多 (国立環境研究所)、増田耕一 (海洋研究開発機構)、大西領 (海洋研究開発機構) の諸氏にお願いし委員会出発時の助言をいただいた (以上敬称略)。

2013年5月1日のキックオフミーティングで意見交換の結果、まず表1に示すような気候モデルにおける検討要素マトリックス (諸物理化学課程の整理) を作成した。そして、これらの要素を検討するための気候モデルとして、東京大学気候システム研究セ

表1 気候モデルにおける検討要素マトリックス (諸物理化学過程の整理)

太陽	大気圏外側に到達するエネルギーの時空間(季節・緯度)変化 (+大気圏放射パスの変更)									
	連続・運動eq	エネルギーeq	水蒸気eq	雲粒eq	降雨(雪)eq		大気中放射(各種成分分布)		雲放射	エアロゾル放射
気液界面					蒸発	絶対温度	各種アルベド	各種拡散係数		
海洋	連続・運動eq	エネルギーeq	塩分eq							
大陸界面・他				河川による輸送	蒸発	浸透	吸収	反射		
数値計算手法・結果の基礎的チェック	空間分解能	時間分解能	質量・エネルギーバランス	各種アルベド	各種拡散係数	絶対温度	外的条件一定での時間平均	外的条件一定での長期振動	その他1	その他2

ンターと国立環境研究所の共同により1995年に開発された全球3次元大気大循環モデル(表2)を対象とすることとした。このモデルはいささか古いものの、海洋とのカップリングや二酸化炭素循環は考慮せず、これらを境界条件として所与のものとするものであるため、気候モデルの骨格を理解する入口としては好適であるとの判断からであった。

本会の委員5名はこのマニュアル(第1章 モデルの概要, 第2章 力学過程, 第3章 物理過程)を読み解く作業を開始し, その中間報告は2015年6月3日に福岡で開催された日本伝熱シンポジウム特別セッションで行った。

これらの活動を通じて, 気候モデルの根本となる素過程とこれらをマクロスケール(全球)解析に適合させるためのモデル化, さらに, モデル検証の難しさをあらためて提示するに至った。様々な時空間スケールを対象とした気候モデルの構築と検証は, 本会会員にとって挑戦的な課題であり, 学術分野を横断した研究者間の連携による長期的な取り組みが求められるものである。そのため, 本会においては外部から複数の委員に参画をいただいた。もとより大きな課題ではあるが, 基盤作りをした段階で本研究をひとまず終了させていただく次第である。

3. 「将来世代コンピュータのための超長マイクロチャンネル冷却」HTSJ-FY2017-07

主 査: 中山恒(名誉会員)

WatNAKAYAMA@aol.com

日本伝熱学界特定推進研究「将来世代コンピュータのための超長マイクロチャンネル冷却」では, 当該テーマに関する最新の研究動向を入手しつつ, メンバー内で共同研究を進めるとともに, 産業界と学会の専門家を招聘し6回の委員会を開催してきた。

表2 全球3次元大気大循環モデルの概要

方程式系	全球プリミティブ方程式系
予報変数	風速, 温度, 地表気圧, 比湿, 雲水量
水平離散化	スペクトル変換法
鉛直離散化	s系 (Arakawa and Suarez, 1983)
放射	2ストリームDOM/adding法 (Nakajima and Tanaka, 1986)
雲過程	雲水予報 (Le Treut and Li, 1991)
積雲対流	簡略化Arakawa-Schubertスキーム
鉛直拡散	Mellor and Yamada (1974) level 2
地表flux	Louis (1979) バルク式, Miller et al. (1992) の対流効果
地表面過程	多層熱伝導, バケツモデル
重力波抵抗	McFarlane (1987)

最先端のスーパーコンピュータの開発は科学技術政策からの要請や国威発揚といった要素のみならず産業政策や社会保障等にも強く影響をもたらしていることから国策としても取り組む課題となっているが, いわゆる Exa-scale あるいは Zeta-scale, 更にその先の処理性能向上へのシナリオを描く上で乗り越えるべき課題として計算機が占めるスペースと消費する電力の制約が深刻となっている。

伝熱研究はこれまでもスーパーコンピュータや大型汎用計算機などの高性能電子機器開発の歴史において高性能な冷却技術の提供を通じて大きな貢献を果たしてきたが, 現状のスーパーコンピュータ開発においても同様のパラダイムを引きずっている側面は否めず, スペースや消費電力の課題解決のために新たなスペースと消費電力を必要とするような方向性となっている。

一方で, 情報処理系の進化のベクトルを様々な計算機のデータについて, エネルギー効率 - 体積効率のグラフにプロットすると生体の脳を目指していると云う興味深い指摘がある。これは計算機技術が意図せずして辿ってきた途である。しかしながら,

現状, Peta-scale と Exa-scale の間に非常に高い壁があつて, これを乗り越えなければならないようである.

こうした中, スーパーコンピュータの開発が様々な分野の専門知識にまたがることを踏まえ, 伝熱の観点からこの課題を再考するにあたり, 本特定推進研究テーマとして「将来世代コンピュータのための超長マイクロチャンネル(Very Long Microchannel, VLMC)冷却」を提案する. ここでは, 従来の熱抵抗低減を目的としたマイクロチャンネルとは異なり, 上記要請から齎されるものである.

具体的な検討項目として, VLMC サンプル製法と伝熱性能に関する研究, VLMC 内熱伝達をシミュ

レートするための解析ツールの研究, データセンターの省エネルギーを促進する研究に加えて, 本提案は未知の技術展開に関するものであることから, 特定推進研究テーマとして認可された当初, 研究の中身よりも次のステップを描くようにとの但し書きが添えられたことを踏まえ, 今後取り組むべき課題の抽出を行った.

従来からのパラダイムの延長線上での研究開発でなく, 課題を系統的に捉えなおすことで導出された VLMC の概念を嚆矢として, スーパーコンピュータ開発に係る伝熱の取り組みを今後へと展開すべきである.

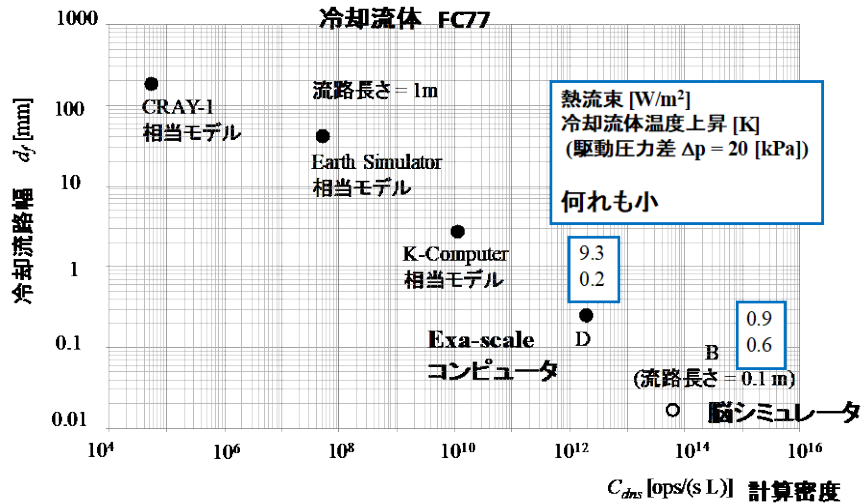


図1 3次元システムでの予測例