

スーパーコンピュータによる
地球環境研究発表会
(第14回)

プログラム
要旨集



平成18年10月30日(月)
11:00 ~ 17:20
於 (独) 国立環境研究所
地球温暖化研究棟 交流会議室



国立環境研究所
地球環境研究センター



表紙の画像

国立環境研究所のスーパーコンピュータ (SX-6)

■仕様■

CPU 数 : 64CPU (8CPU/ノード、計 8 ノード) 単体 CPU 当たり演算ピーク性能 : 8GFLOPS

総合演算ピーク性能 : 512GFLOPS 主記憶容量 : 512GB

スーパーコンピュータによる地球環境研究発表会(第14回)プログラム

日時：平成18年10月30日(月) 11:00~17:20

場所：独立行政法人 国立環境研究所
地球温暖化研究棟 交流会議室

- 11:00~11:05 **開会挨拶**
笹野 泰弘 (国立環境研究所 地球環境研究センター長)
- 11:05~11:15 **スーパーコンピュータ利用研究概要紹介**
藤沼 康実 (国立環境研究所 地球環境研究センター陸域モニタリング推進室長)
- 11:15~11:30 **大循環モデルを用いた氷期の大気場のシミュレーションー東アジア・北太平洋域の大気変動メカニズム**
○柳瀬 亘¹・阿部 彩子^{1,2} (¹東京大学気候システム研究センター、²海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター)
- 11:30~11:45 **GCMを用いたエアロゾルの気候への影響に関する研究**
向井真木子¹・○五藤 大輔¹・竹村 俊彦²・中島 映至¹ (¹東京大学気候システム研究センター、²九州大学 応用力学研究所)
- 11:45~13:00 **Lunch**
- 13:00~13:15 **CASL法と点渦法による準地衡風渦の数値シミュレーション**
○堀 祐輔・星 伸太郎・李 英太・宮崎 武 (電気通信大学大学院 電気通信学研究所)
- 13:15~13:30 **熱塩二重拡散系における乱流拡散係数**
○花崎 秀史 (京都大学大学院 工学研究科)
- 13:30~13:45 **東京都心部の地下構造物が水・物質循環に及ぼす影響について**
○中山 忠暢¹・丹治 三則²・渡辺 正孝^{1,2}・盛岡 通³ (¹国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ、²慶應義塾大学環境情報学部、³大阪大学大学院工学研究科)
- 13:45~14:00 **大気・海洋間のCO₂輸送に及ぼす降雨およびウインドシアの影響について**
○小森 悟 (京都大学大学院 工学研究科)
- 14:00~14:15 **水惑星実験における赤道域降水パターンの多様性：鉛直乱流混合過程の影響**
○林 祥介¹・石渡 正樹²・山田 由貴子¹・森川 靖大¹・高橋 芳幸¹・中島 健介³・小高 正嗣¹・竹広 真一⁴ (¹北海道大学大学院 理学院、²北海道大学大学院 地球環境科学研究院、³九州大学大学院 理学研究院、⁴京都大学 数理解析研究所)
- 14:15~14:30 **都市キャノピー内及び上空の熱的機構に関する数値解析**
一ノ瀬 俊明¹・○足永 靖信²・河野 孝昭²・東海林 孝幸² (¹国立環境研究所 地球環境研究センター、²建築研究所 環境研究グループ)
- 14:30~14:45 **コンピュータシステムの現状と将来**
○塚本 龍治 (日本電気(株) 第一官庁システム事業部)
- 14:45~15:05 **Coffee Break**
- 15:05~15:20 **東アジアにおける半揮発性エアロゾルのガスーエアロゾル分配変化を通じた間接的酸性化効果**
○梶野 瑞王¹・植田 洋匡² (¹京都大学防災研究所、²(財)日本環境衛生センター 酸性雨研究センター)

- 15:20～15:35 **積雲対流と大規模運動の相互作用についての数値実験：雲活動の自発的集中化のメカニズム**
○中島 健介¹・小高 正嗣²・杉山 耕一郎²・北守 太一² (¹九州大学大学院 理学研究院、²北海道大学大学院 理学院)
- 15:35～15:50 **数値シミュレーション及び風洞実験による都市キャノピー層の不安定成層流の研究 (A comparison of numerical simulation and wind tunnel experiment on unstable stratified flow within and above a modeled urban canopy)**
○余 偉明¹・阿部 敏雄²・足永 靖信² (¹東北大学大学院 理学研究科、²建築研究所)
- 15:50～16:05 **成層圏オゾン層の過去 25 年の化学-気候モデルによるシミュレーション**
○柴田 清孝・出牛 真 (気象研究所 環境・応用気象研究部)
- 16:05～16:20 **大気大循環モデルの中で発達する擾乱の空間構造について**
○山根 省三^{1,2} (¹千葉科学大学 危機管理学部、²海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター)
- 16:20～16:40 **Inferring CO₂ fluxes at regional scale by inverse modeling and using backward atmospheric tracer transport (インバースモデルと大気化学物質逆輸送を用いた領域レベルでの二酸化炭素フラックスの見積もり)**
○Claire Carouge¹, S. Maksyutov^{1,2}, P. Peylin³, P. Bousquet³, P. Rayner³, P. Ciais³, T. Machida¹, K. Shimoyama¹, M. Arshinov⁴, O. Krasnov⁴, B. Belan⁴, G. Inoue^{1,5} (¹NIES, ²FRCGC/JAMSTEC, ³LSCE, Gif sur Yvette, France, ⁴Inst. Atmospheric Optics, Tomsk, Russia, ⁵Nagoya University)
- 16:40～17:00 **CCSR/NIES T42 化学気候モデルを用いたオゾン層の将来予測実験**
○秋吉 英治¹・吉識 宗佳¹・永島 達也²・高橋 正明³・今村 隆史¹・黒川 純一²・滝川 雅之⁴・L.B.Zhou¹・坂本 圭¹ (¹国立環境研究所 大気圏環境研究領域、²国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ、³東京大学気候システム研究センター、⁴海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター)
- 17:00～17:15 **総合討論**
- 17:15～17:20 **閉会挨拶**
野尻 幸宏 (国立環境研究所 地球環境研究センター副センター長)

* なお、17:30 より所内食堂にて懇親会 (会費制) を開催します。

○印は発表者

発表要旨

目次

大循環モデルを用いた氷期の大気場のシミュレーションー東アジア・北太平洋域 の大気変動メカニズム.....	1
○柳瀬 亘 ¹ ・阿部 彩子 ^{1,2} (¹ 東京大学気候システム研究センター、 ² 海洋研究開発機構 地球環境フロン ティア研究センター)	
GCM を用いたエアロゾルの気候への影響に関する研究.....	2
向井真木子 ¹ ・○五藤 大輔 ¹ ・竹村 俊彦 ² ・中島 映至 ¹ (¹ 東京大学気候システム研究センター、 ² 九州大学 応用力学研究所)	
CASL 法と点渦法による準地衡風渦の数値シミュレーション.....	3
○堀 祐輔・星 伸太郎・李 英太・宮崎 武 (電気通信大学大学院 電気通信学研究科)	
熱塩二重拡散系における乱流拡散係数.....	4
○花崎 秀史 (京都大学大学院 工学研究科)	
東京都心部の地下構造物が水・物質循環に及ぼす影響について.....	5
○中山 忠暢 ¹ ・丹治 三則 ² ・渡辺 正孝 ^{1,2} ・盛岡 通 ³ (¹ 国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ、 ² 慶應義塾大学環境情報学部、 ³ 大阪大学大学院工学研究科)	
大気・海洋間のCO ₂ 輸送に及ぼす降雨およびウインドシアの影響について.....	6
○小森 悟 (京都大学大学院 工学研究科)	
水惑星実験における赤道域降水パターンの多様性：鉛直乱流混合過程の影響.....	7
○林 祥介 ¹ ・石渡 正樹 ² ・山田 由貴子 ¹ ・森川 靖大 ¹ ・高橋 芳幸 ¹ 中島 健介 ³ ・小高 正嗣 ¹ ・竹広 真一 ⁴ (¹ 北海道大学大学院 理学院、 ² 北海道大学大学院 地球環境科学研究院、 ³ 九州大学大学院 理学研究院、 ⁴ 京都大学 数理解析研究所)	
都市キャノピー内及び上空の熱的機構に関する数値解析.....	8
一ノ瀬 俊明 ¹ ・○足永 靖信 ² ・河野 孝昭 ² ・東海林 孝幸 ² (¹ 国立環境研究所 地球環境研究センター、 ² 建築研究所 環境研究グループ)	
東アジアにおける半揮発性エアロゾルのガスーエアロゾル分配変化を通じた間 接的酸性化効果.....	9
○梶野 瑞王 ¹ ・植田 洋匡 ² (¹ 京都大学防災研究所、 ² (財)日本環境衛生センター 酸性雨研究センター)	
積雲対流と大規模運動の相互作用についての数値実験：雲活動の自発的集中化の メカニズム.....	10
○中島 健介 ¹ ・小高 正嗣 ² ・杉山 耕一郎 ² ・北守 太一 ² (¹ 九州大学大学院 理学研究院、 ² 北海道大学大学院 理学院)	

A comparison of numerical simulation and wind tunnel experiment on unstable stratified flow within and above a modeled urban canopy (数値シミュレーション及び風洞実験による都市キャノピー層の不安定成層流の研究)	11
○余 偉明 ¹ ・阿部 敏雄 ² ・足永 靖信 ² (¹ 東北大学大学院 理学研究科、 ² 建築研究所)	
成層圏オゾン層の過去 25 年の化学-気候モデルによるシミュレーション	12
○柴田 清孝・出牛 真 (気象研究所 環境・応用気象研究部)	
大気大循環モデルの中で発達する擾乱の空間構造について	13
○山根 省三 ^{1,2} (¹ 千葉科学大学 危機管理学部、 ² 海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター)	
Inferring CO₂ fluxes at regional scale by inverse modeling and using backward atmospheric tracer transport (インバースモデルと大気化学物質逆輸送を用いた領域レベルでの二酸化炭素フラックスの見積もり)	14
○Claire Carouge ¹ , S. Maksyutov ^{1,2} , P. Peylin ³ , P. Bousquet ³ , P. Rayner ³ , P. Ciais ³ , T. Machida ¹ , K. Shimoyama ¹ , M. Arshinov ⁴ , O. Krasnov ⁴ , B. Belan ⁴ , G. Inoue ^{1,5} (¹ NIES, ² FRCGC/JAMSTEC, ³ LSCE, Gif sur Yvette, France, ⁴ Inst. Atmospheric Optics, Tomsk, Russia, ⁵ Nagoya University)	
CCSR/NIES T42 化学気候モデルを用いたオゾン層の将来予測実験	15
○秋吉 英治 ¹ ・吉識 宗佳 ¹ ・永島 達也 ² ・高橋 正明 ³ ・今村 隆史 ¹ 黒川 純一 ² ・滝川 雅之 ⁴ ・L.B.Zhou ¹ ・坂本 圭 ¹ (¹ 国立環境研究所 大気圏環境研究領域、 ² 国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ、 ³ 東京大学気候システム研究センター、 ⁴ 海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター)	

(○印は発表者)

発表会欠席者の研究概要

流域土砂動態モデルの適用による久箸呂川流域の土砂収支解析	16
村上 正吾 ¹ ・林 誠二 ² (¹ 国立環境研究所アジア自然共生研究グループ、 ² 国立環境研究所 水圏環境研究領域)	

(資料)

コンピュータシステムの現状と将来	17
○塚本 龍治 (日本電気(株) 第一官庁システム事業部)	

大循環モデルを用いた氷期の大気場のシミュレーション —東アジア・北太平洋域の大気変動メカニズム

柳瀬 亘¹・阿部 彩子^{1,2}

¹東京大学気候システム研究センター、²海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター

1. 研究目的

将来の温暖化での気温や降水量などの変化を予測するツールとしての大循環モデルについて、観測事実による検証や変動のメカニズムの理解が重要となっている。このため、IPCC/AR4 関連の PMIP2 では、大気循環の変化パターンとその原因となるフォーシングについての地質データが比較的に豊富にある最終氷期 (LGM) に注目してシミュレーションを行ない、気候変化のメカニズムの研究や、モデルと地質データとの相互比較を行なっている。東京大学気候システム研究センターを中心としたグループでも大気海洋結合大循環モデル(CGCM)の MIROC3.2 を用いて関連実験を行い、IPCC/AR4 と PMIP2 にデータを提供してきた。

本研究ではその CGCM の結果を解釈するために、環境研のスパコンを用いて大気大循環モデルによる感度実験を行い、特に日本の気候に大きな関連のある東アジア・北太平洋地域に注目して研究を進めてきた。

2. 研究概要

我々のグループのこれまでの研究では CGCM によって地質データと整合的な LGM の気候が再現できることを確認してきた。今回の研究では大気循環の変動を議論するため、海洋は熱の収支だけを考慮した簡単な混合層を仮定することで計算コストを減らし、数多くの実験を行なうことを実現した。大気モデルでは物理法則に基づいた基礎方程式系に従って風や温度の3次元分布を計算している。

LGMの設定として、北米と北欧に氷床を置き、CO₂濃度を現在(産業革命前)の値 280 ppmから氷期の値 185 ppmに下げて与えた。氷床は山岳のように大気の流れを変形する効果と、太陽放射を反射して地表面を冷やす効果がある。その他、地球軌道要素の変化に伴う太陽放射の変化も考慮したが影響は小さかったために以下では議論しない。LGMの実験では氷床やCO₂濃度を同時に変えて与えるが、ここでは各強制の寄与を個別に調べるために、CO₂濃度だけを変える実験や、氷床を地域別に与える感度実験を行なった。

3. 研究成果

図1は年平均した地表面気温の変化量を示す。CO₂減少の効果は全球気温を比較的に一様に下げるのに対し(図1左)、氷床はその周囲の地表面気温を大きく下げるが(図1右)全球平均するとCO₂減少の効果の半分程度の寄与であった。氷床の周りで気温低下が起きるのは、太陽放射の反射による冷却と、地表面の高度が上がり上層の低い気温を反映したためである。図2は北半球の夏(6,7,8月)で平均した海面気圧の変化量を示す。CO₂濃度減少の効果(図2左)に比べて氷床の効果(図2右)が大きいことがわかる。これは、CO₂濃度は比較的に水平一様に大気場を強制するのにに対し、氷床は非一様にはたらくことで循環場への寄与が大きくなるためである。夏と冬とは太陽放射や流れの基本場が異なるため氷床の影響の仕方も異なるが、CO₂濃度に比べて氷床の方が循環場に与える影響が大きいという特徴は両季節で共通している。本研究では、氷床が太陽放射を反射する効果と、地形が高くなる効果なども切り分けた詳細な解析も行ない、理論的な研究と結び付けてLGMの気候変動の解釈を試みている。

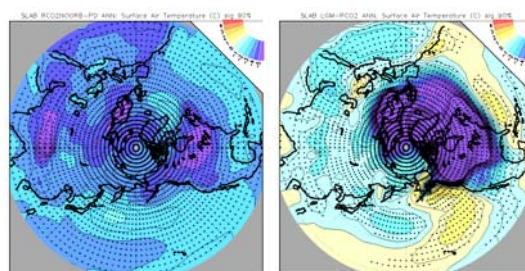


図1 年平均した地表面気温の変化(単位は℃)。(左)CO₂濃度減少の効果、(右)氷床の効果。

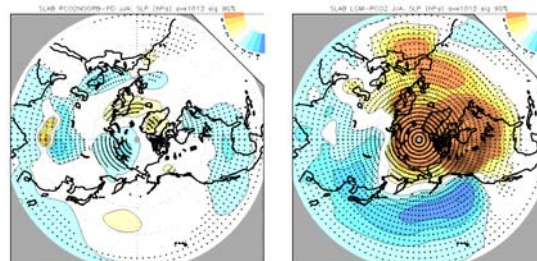


図2 北半球夏(6,7,8月)の海面気圧の変化(単位はhPa)。(左)CO₂濃度減少の効果、(右)氷床の効果。

GCM を用いたエアロゾルの気候への影響に関する研究

向井 真木子¹・五藤 大輔¹・竹村 俊彦²・中島 映至¹

¹東京大学気候システム研究センター、²九州大学応用力学研究所

1. 序論

産業革命以後、人間活動によって大気が汚れているといわれている。人間活動が及ぼし得る大気への影響として考えられるのは、二酸化炭素のような温室効果気体やエアロゾルの排出によるものがある。これらの「汚染物」の排出によって、産業革命以前と近年とでは大気の状態が変わり、それに伴い気候も変化している。本研究では特にエアロゾルの変化による気候への影響を、大気大循環モデル(GCM)を用いて研究した。

2. 研究手法

使用した GCM は、CCSR/NIES/FRCGC AGCM5.7b にエアロゾル輸送モデルを結合させた SPRINTARS (Takemura *et al.*, 2005) である。このエアロゾル輸送モデルを用い、産業革命以降のエアロゾルの増加による、気候への影響を見積もった。実験は、① 1850 年時のエアロゾルの排出量データを使用しての数値実験、② 2000 年時のエアロゾルの排出量データを使用しての数値実験、の 2 つのものを行い、これらの比較をすることで、産業革命以後のエアロゾルによって気候の変化をどの程度説明できるかを考察した。なお、実験ではエアロゾルのデータは、人為起源物質である二酸化硫黄と工業活動によって排出される黒色炭素の 2 つを変化させ、その他のものは同じ条件にした。即ち、温室効果気体、自然起源のエアロゾル、土地利用、などは変化させていない。また本実験では海水温度を固定せず、海洋の第一層のみ大気温度変化に対応して変動するような実験設定にしてある。

3. 研究結果

表 1 は 1850 年と 2000 年におけるエアロゾルの年平均光学的厚さであり、場所はそれぞれ世界の主要工業地域である中国、ヨーロッパ、北アメリカの 3 領域である。エアロゾルの光学的厚さが 0.1 以下であるのは、現在では汚染域から遠く離れた地域に限られているので、1850 年時の清浄さが目立つ。また表 2 には同じような比較を 850 hPa 付近の層状性水雲の有効半径で行った。水雲の有効半径はエアロゾルの増加に伴って大きく減少することも確かめられた。これらのことは、

エアロゾルの気候への影響が直接的だけではなく雲を介して間接的にも強いことを示唆している。

表 1. エアロゾルの光学的厚さ

	1850	2000
中国	0.099	0.356
ヨーロッパ	0.099	0.369
北アメリカ	0.047	0.183

表 2. 850 hPa 付近の層状性水雲有効半径[um]

	1850	2000
中国	11.45	8.47
ヨーロッパ	11.85	9.14
北アメリカ	11.72	9.15

参考文献

Takemura T., T. Nozawa, S. Emori, T. Y. Nakajima, and T. Nakajima, 2005. Simulation of climate response to aerosol direct effect and indirect effects with aerosol transport-radiation model, *J. Geophys. Res.*, 110, D02202, doi:10.1029/2004JD005029.

CASL 法と点渦法による準地衡風渦の数値シミュレーション

堀 祐輔・星 伸太郎・李 英太・宮寄 武
電気通信大学大学院電気通信学研究科知能機械工学専攻

1. 研究目的

地球流体現象はコリオリ力と安定密度成層の影響を受けて準 2 次元的になる。そのため、寿命の長い大規模渦構造が出現し、運動量・エネルギー・物質の現象を支配する。これまで準地衡風近似のもとに、これらの渦構造の安定性を調べるとともに (Miyazaki *et al.* ⁽¹⁾)、その相互作用を取り入れた「乱流渦モデル」を構築してきた (Miyazaki *et al.* ⁽²⁾, Li *et al.* ⁽³⁾)。本研究では、もっとも単純な「乱流点渦モデル」に基づいて、準地衡風乱流の統計的な性質を解明するとともに、高速数値計算としての「点渦法」の有効性を検証する。

2. 点渦系の統計性

点渦系の保存量は総エネルギー、渦重心、角運動量である。渦重心を原点にし、長さスケールは角運動量を用いて規格化した。鉛直方向には「連続層」 ($-2.432 \leq z \leq 2.432$)、「一層」 ($z=0$)、「三層」 ($z=0, \pm 1/2$) に点渦を配置し、各々の時間発展と統計性を調べた。「一層」、「三層」は最大エントロピー理論を用いて平衡分布の理論解を求め、数値計算結果と比較した。「連続層」は、 $t=10 \sim 20$ で平衡状態となった。平衡分布は軸対称となるため、対称軸中心からの距離 r と鉛直方向成分 $|z|$ における平衡分布 $F(r, z)$ を調べた (図 1)。どの鉛直座標でも、分布は対称軸に集中した。また鉛直方向について、上下層は中心層に比べさらに対称軸に集中する現象「End-effect」が見られた。中心層は 2 次元渦糸系の場合に相当する。最大エントロピー理論による解析によって、「一層」の場合は数値計算結果と理論曲線がよく一致し、「三層」の場合「End-effect」を捉えることができた。

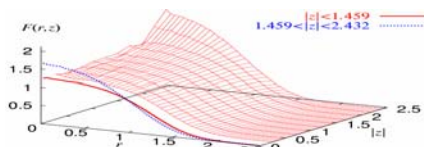


図 1 Equilibrium distribution $F(r, z)$

3. 高速数値計算としての「点渦法」

これまでの研究から⁽¹⁾、一様ポテンシャル渦度領域を持つ傾斜回転楕円体渦は線形安定性理論で安定な場合に時間発展後も剛体回転し続け、不安定な場合に非

線形効果を伴う大変形をすることがCASL法の直接数値計算によって分かっている (Miyazaki *et al.* ⁽⁴⁾)。このCASL法による数値計算と「点渦法」による計算結果を比較した。扁長傾斜回転楕円体渦の半主軸長を $\alpha, \beta, \gamma (\alpha = \beta)$ 、アスペクト比を α/γ とした。点渦法ではポテンシャル渦度を一様にするため初期の点渦を格子点上に配置し、渦数 N を約 2000~8000 まで変えて計算した。一方、CASL 法は計算領域を $(2\pi)^3$ にし、解像度を 128^3 、 256^3 で行った。

今回は線形安定性理論から渦の変形の仕方が顕著に出るアスペクト比 $\alpha/\gamma = 0.125$ 、鉛直軸からの傾き角 $\theta = 0.96$ [rad] の場合を計算した。CASL 法での回転楕円体内の格子数は、解像度 128^3 の場合 1180、解像度 256^3 の場合 9440 である。点渦法・CASL 法の結果はともに不安定となった。点渦数が少ない、CASL 法の解像度が 128^3 の場合は 2 体に分裂したのに対し、点渦数が多い、CASL 法の解像度が 256^3 の場合は 3 体に分裂した (図 2: 左図は点渦法 (点渦数 8003, $t=14$)、右図は CASL 法 (解像度 256^3 , $t=14$))。点渦法で分裂した渦は一様分布ではなく、熱平衡分布となった。

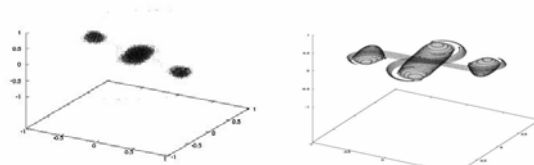


図 2 Nonlinear evolution of instability

(left: Point-Vortex Method, right: CASL Algorithm)

4. 結言

・点渦系の平衡分布には「End-effect」が見られた。また、最大エントロピー理論による平衡分布が数値計算結果とよく一致した。

・線形安定理論により不安定とされた傾斜回転楕円体渦の時間発展は CASL 法では解像度 256^3 以上、点渦法では渦数を約 8000 本以上にしないと捉えられない。

参考文献

- (1) T. Miyazaki *et al.* : 2003, J.Phys.Soc.Jpn, 72, 2786
- (2) T. Miyazaki *et al.* : 2001, J.Phys.Soc.Jpn, 70, 1942
- (3) Y. Li *et al.*: 2006, Phys. Fluids, 18, 076604
- (4) T. Miyazaki *et al.* :2002, J.Phys.Soc.Jpn, 71, 2687

熱塩二重拡散系における乱流拡散係数

花崎 秀史

京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻

1. 背景と目的

海洋の流れは、海水密度を決定する熱と塩分の分布に大きく依存する。海洋数値モデルにおいては、通常、熱と塩分の乱流渦拡散係数は等しく置かれて来た。これは、レイノルズ数が十分大きく、分子拡散の効果は非線形効果に覆い隠されるという仮定のもとでの話である。しかし、近年、両者の違いの可能性やその影響が議論されるようになった。海洋観測や室内実験においても両者の違いを指摘する結果が現れ、IAPSOでも拡散係数に関するワーキンググループを設置した。室内実験によれば、差分拡散は、海洋観測でよく用いられる浮力レイノルズ数 $\epsilon / \nu N^2$ が 10^3 以下程度で発生する（ ϵ は、乱流のエネルギー散逸率、 ν は流体の動粘性率、 N は浮力振動数）が、この値は実は、赤道や極付近の密度躍層や、海洋深層において典型的な値である。本研究では、熱と塩分の分子拡散の違い、すなわち、differential diffusion（以下、和訳として「差分拡散」と呼ぶことにする）が、それらの乱流（渦）拡散係数に与える影響を、数値シミュレーションにより解析する。なお、実際の系では熱（温度）のプラントル数は $Pr_T = 6$ 、塩分のプラントル数は $Pr_S = 600$ であるが、計算機の能力の限界のため、ここではそれぞれ、 $Pr_T = 1$ 及び $Pr_S = 6$ として計算した。

2. 結果及び結論

差分拡散の存在自体は、流れの渦構造のような小スケールの構造にはあまり影響を与えない。図1は、渦の等値面であるが、こうしたpan-cake（パンケーキ）構造自体は、密度成層を構成する要素が熱（温度）だけの場合と実は大きな差はない。実用上重要な問題は、大スケールの構造が効く熱と塩分のフラックス（あるいは乱流渦拡散係数）である。これらは、比較的初期の時刻に分子拡散の影響による差を生じる。しかもその差は、時間が経っても消滅せず、ずっと後まで影響を引きずることになる。図2は、塩分と熱の渦拡散係数（ K_S と K_T ）の比 $d = K_S / K_T$ の時間変化を示しているが、時間と共に減少し、0.5付近の小さい値に漸近することがわかる。このことは、 $d = K_S / K_T = 1$ を仮定すると、拡散係数が実際とずれてくる可能性を示している。ただし、渦拡散係数も密度成層の強さに依存する

ため、浮力レイノルズ数に依存し、室内実験では $d = 0.2$ 程度の低い値も得られている。したがって今後、観測等との比較の観点からも、浮力レイノルズ数依存性の解析が不可欠である。

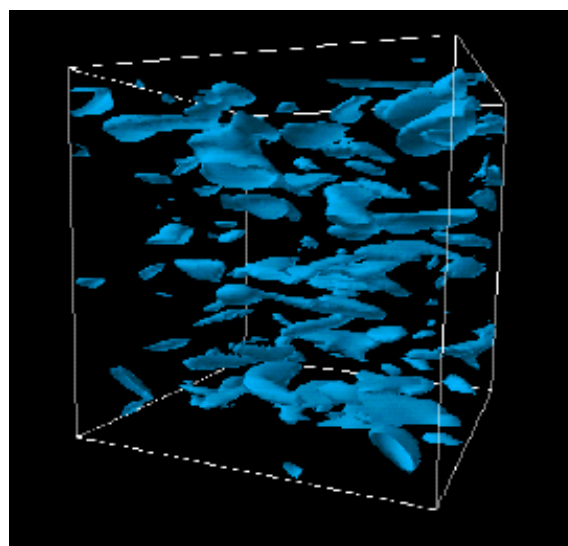


図 1 成層流体中の渦度の等値面（パンケーキ構造）。

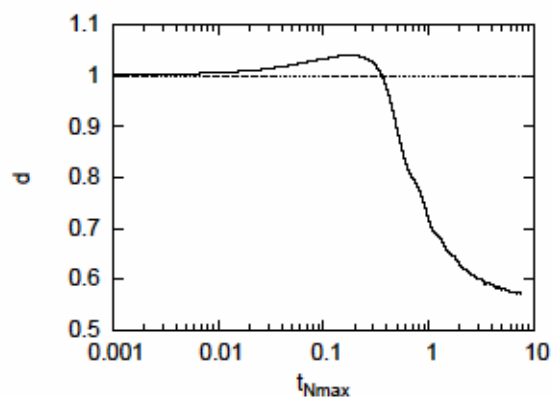


図 2 塩分と熱の渦拡散係数の比 d の時間変化。

東京都心部の地下構造物が水・物質循環に及ぼす影響について

中山 忠暢¹・丹治 三則²・渡辺 正孝^{1,2}・盛岡 通³

¹国立環境研究所アジア自然共生研究グループ、

²慶應義塾大学環境情報学部、³大阪大学大学院工学研究科

1. 研究目的

東京都心部では高度経済成長期における地下水過剰汲み上げによって急激な地下水位低下及び深刻な地盤沈下等の問題が発生した。その反省として1970年に条例によって地下水汲み上げが規制され地下水位は回復したが、現在では逆に地下水位が高くなりすぎて様々な地下水障害が発生している。特に、東京駅や上野駅などでは浅い地下水位による地下ホームの浮上防止のために、多量のアンカーや鉄板の敷設を行っている。

本研究では、自然の水循環に人工構造物の影響を考慮したモデルシミュレーション、及び最適な地下水涵養(及び利用)政策に基づいた予測シミュレーションを行うことによって、このような地下水障害への対策及び自然水の有効利用のための政策提言を目的とする。

2. 研究概要

利根川全流域を含む関東平野を対象として、2000年1月1日から2001年12月31日までの2年間のシミュレーションを行った。229×190×10層(水平方向:1kmメッシュ)で行った。鉛直方向には表層厚さ2mとし、最下層-500mまで等比級数的に不等間隔格子で分割した。主な解析条件を以下に示す。

(1) モデル

著者らが開発してきた陸域統合型NICE(NIES Integrated Catchment-based Eco-hydrology)モデル¹⁻⁵を使用した。NICEモデルは、MODIS衛星データから得られるLAIやFPAR等の高次プロダクトと同化することによって植生の季節変化・増殖を考慮し、かつ、河川水・土壌水分・地下水及び植生間での相互作用を考慮した3次元グリッド型の水・熱・物質収支モデルである。

(2) 海水及び下水道の影響の取り込み

NICEモデルに密度影響を組み込むことによって淡水-塩分フロント形状の形成に有意な影響を与える鉛直方向流れへの密度影響を考慮した。また、都心部では下水管渠モデルとの結合によって、越流量・漏水量をNICEモデルに入力した。

(3) モデルの境界条件

土地利用・植生・土壌・地質に加えて人為的な水使用量等のGISデータを各3次元グリッドに与えるとともに、地表面にはforcing気象データを、海域と陸域の境界には潮汐調和定数から推定した天文潮位と塩分濃度を与えた。

(4) 地下水涵養を目的とした政策オプション

涵養量の積極的な促進を目的として、MA(Millennium Ecosystem Assessment)の概念に基づいたエコシステム・サービス用地(ES用地)提供に関する4つの政策シナリオ(BAU、TD、SD、DE)を提案し、各シナリオのもとでの予測シミュレーションを行った。

3. 研究成果

詳細については発表時に説明を行う。

参考文献

1. Nakayama, T. & Watanabe, M. (2004) Simulation of drying phenomena associated with vegetation change caused by invasion of alder (*Alnus japonica*) in Kushiro Mire. *Water Resour. Res.*, 40(8), W08402, doi: 10.1029/2004WR003174.
2. Nakayama, T., Watanabe, M. (2005) Re-evaluation of groundwater dynamics about water and nutrient budgets in Lake Kasumigaura, *Annu. J. Hydraul. Eng.*, 49, 1231-1236.
3. Nakayama, T., & Watanabe, M. (2006) Simulation of spring snowmelt runoff by considering micro-topography and phase changes in soil layer. *Hydrol. Earth Syst. Sc. Discuss.*, 3, 2101-2144.
4. Nakayama, T., Yang, Y., Watanabe, M. & Zhang, X. (2006) Simulation of groundwater dynamics in North China Plain by coupled hydrology and agricultural models. *Hydrol. Process.*, 20(16), 3441-3466, doi: 10.1002/hyp.6142.
5. Nakayama, T. & Watanabe, M. (2006) Development of process-based NICE model and simulation of ecosystem dynamics in the catchment of East Asia (Part I), *CGER's Supercomputer Monograph Report*, 11, NIES, 100p., <http://www-cger.nies.go.jp/publication/I063/I063.html>.

大気・海洋間のCO₂輸送に及ぼす降雨およびウインドシアの影響について

小森 悟

京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻

1. 研究目的

大気・海洋間での海水面を通してのCO₂等の温室効果ガスの交換に及ぼすウインドシアの影響については以前から研究が行われているが降雨の影響についてはほとんど研究が行われていない。

本研究では、室内実験および数値シミュレーションを併用することにより、大気・海洋間の物質輸送に及ぼす降雨の影響を明らかにするとともに、ウインドシアの影響と比較検討することを目的とした。

2. 降雨パラメータ

開水路と降雨発生装置を用いたCO₂の自由表面（気液界面）への吸収実験において、降雨により開水路乱流場に輸送されるCO₂のフラックスを測定し、物質移動速度（液側物質移動係数） k_L を評価した。図1に示すように k_L は雨滴の持つ鉛直方向の運動量 MF により決定されることが明らかになった。これは、雨滴が衝突する自由表面下に物質輸送を支配する表面更新渦が運動量交換により形成されることを示唆している。

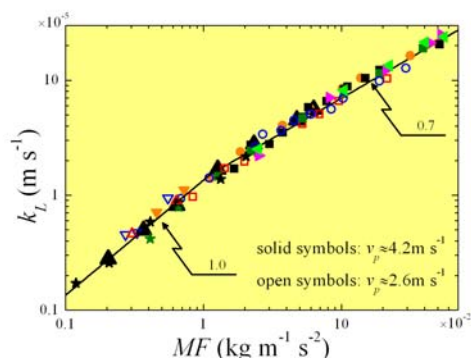


図1 物質輸送速度と降雨の鉛直方向運動量流束

3. 大気・海洋間の物質輸送に及ぼす雨滴の影響

図2に図1で示した物質輸送速度を用いて計算した雨滴の衝突による大気・海洋間のCO₂のフラックスの全球分布(a)を雨滴が海水面に衝突するまでに吸収するCO₂のフラックス(b)およびウインドシアによるCO₂のフラックス(c)と比較して示す。雨滴の衝突および吸収の影響は海表面全体ではウインドシアによる

影響に比べて5%以下と非常に小さいが、熱帯地域では、35%に達する地域もある。これらの結果は、大気・海洋間の物質輸送に及ぼす降雨の影響はグローバルな観点では小さいが、局所的には重要であることを示している。

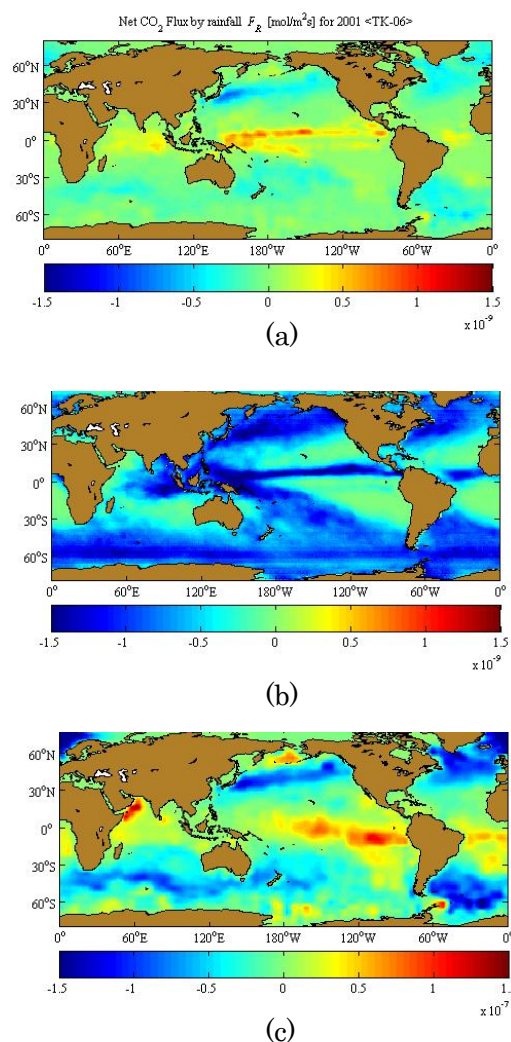


図2 降雨の衝突(a), 吸収(b)およびウインドシア(c)による大気・海洋間のCO₂フラックス

謝辞：本研究の遂行には、京都大学の高垣直尚，斉木理奈，鈴木直弥の3氏，および国立環境研究所の木幡邦男氏の協力を得た。

水惑星実験における赤道域降水パターンの多様性： 鉛直乱流混合過程の影響

林 祥介¹・石渡 正樹²・山田 由貴子¹・森川 靖大¹・高橋 芳幸¹
中島 健介³・小高 正嗣¹・竹広 真一⁴

¹北海道大学大学院理学院、²北海道大学大学院地球環境科学研究院
³九州大学大学院理学研究院、⁴京都大学数理解析研究所

1. 研究目的

本研究では、赤道域降水構造の大気大循環モデルにおける表現の多様性とその要因を探ることを目的として、水惑星 GCM 実験によるパラメタ依存性調査を行っている。本年は、鉛直乱流混合過程がもたらす影響を、鉛直乱流混合過程を単純化することによって調べた。

2. モデルと実験設定

使用した数値モデルは、球面3次元プリミティブ方程式系に基づき、簡略な水循環過程と放射過程を持つ、地球流体電脳倶楽部版 AGCM5 (<http://www.gfd-dennou.org/arch/agcm5/>)である。解像度は T42L16 とし、東西一様、南北対称な固定 SST 分布を持つ水惑星条件を与えた。赤道域における東進構造がもっとも明瞭になる条件、すなわち、鉛直放射冷却率分布が上層で最大値を持つように操作し、積雲パラメタリゼーションとして Kuo スキームを用いた場合に対し、鉛直乱流混合を単純化して、その構造の変化を観測することを行った。

3. 実験結果

Kuo スキームは wave-CISK の力学が働きやすいと期待される積雲パラメタリゼーションであり、実際昨年度まで行って来た放射冷却率依存性実験 (K-UC 実験)によれば、対流圏上層で強い冷却を与えると格子点スケールの降水域の東進が明瞭に見られる。しかし、その東進パターンは Hayashi and Sumi (1986) や Numaguti and Hayashi (1991) とは異なり、赤道円周上に強い降水域が一箇所しか存在しないようなパターンとなっていた (図 1)。この原因を探るべくモデルの物理過程を順次単純化し、線形 wave-CISK モデルに近づける操作を行った。その結果、乱流鉛直輸送過程を単純化し、地表面フラックスを与えるバルク係数を安定度やシアーに依存しない定数とし、鉛直乱流混合も安定度やシアーに依存しない固定鉛直拡散係数で与えることにしたところ、強い降水域が赤道円周上に複数発生する傾向が現れた (図 2)。

地球流体電脳倶楽部版 AGCM5 では、鉛直乱流混合過程と大循環場とのフィードバックが強く働いており、降水が抑圧的で、一度降水が発生すると強い降水になるためますます他の降水の発生に対して抑圧的になるのだと想像される。

鉛直乱流混合過程の水蒸気供給を介しての大規模運動の表現に少なくない影響を及ぼしていること、ならびに、積雲対流パラメタリゼーションと鉛直乱流混合過程との整合性を検討するべきことなどが示唆された。

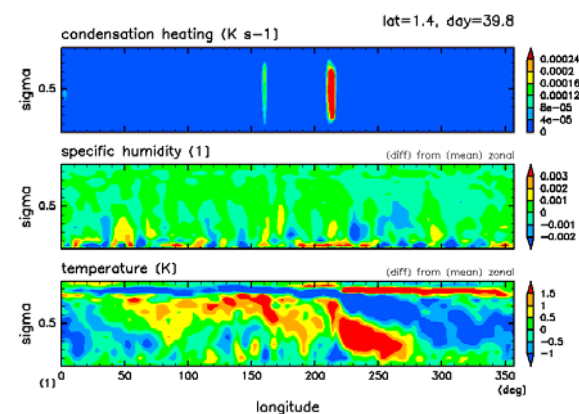


図 1 K-UC実験におけるとある時刻での赤道断面図。(上)凝結加熱 ($K s^{-1}$)、(中)湿度 ($kg kg^{-1}$)、(下)温度 (K)。

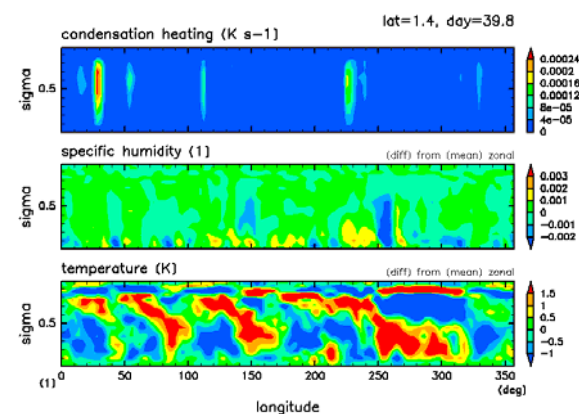


図 2 地表面フラックスを与えるバルク係数と鉛直乱流混合を定数にした実験におけるとある時刻での赤道断面図(各図の物理量は図 1 と同じ)。

都市キャノピー内及び上空の熱的機構に関する数値解析

一ノ瀬 俊明¹・足永 靖信²・河野 孝昭²・東海林 孝幸²
¹国立環境研究所地球環境研究センター、²建築研究所環境研究グループ

1. 研究目的

ヒートアイランド対策効果を定量的に把握するためには、ヒートアイランド現象のメカニズムを解明する必要がある。しかし、都市キャノピーモデルは解析事例が少なく、特に気温分布についてのモデル検証例は少ない。

本研究は、都市キャノピー内および上空での熱的気候を把握するために空間平均・レイノルズ平均された熱輸送方程式各項のオーダーを比較し、気温分布への寄与を考察する。

2. 研究概要

2.1 熱輸送方程式

空間平均・レイノルズ平均された熱輸送方程式を以下に示す。既往のモデルでは、右辺第2項を非常に小さいと見なしている。

$$\frac{\partial \langle \bar{T} \rangle}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial G \langle \bar{T} \rangle \langle \bar{u}_j \rangle}{\partial x_j} = \frac{1}{G} \frac{\partial G \langle \overline{T u_j'} \rangle}{\partial x_j} - \frac{1}{G} \frac{\partial G \langle \overline{T''} \rangle \langle \bar{u}_j \rangle}{\partial x_j} + \frac{\langle \bar{H}_a \rangle}{C_p \rho_a} \quad (1)$$

都市キャノピー内及び上空の熱的機構を扱う本研究では上式各項についてオーダーを比較する。

2.2 数値モデルの概要

(1) 支配方程式・解析手法

支配方程式は質量・運動量・エネルギー保存の方程式を用いる。離散化は有限差分法により行い、スタガード格子を採用する。移流項は1次精度の風上差分、拡散項は2次精度の中心差分により離散化する。尚、風洞試験データは時間平均値であるため、時間積分には完全陰解法を用いた（定常流れを仮定）。乱流モデルは、 $k-\epsilon$ モデルを使用する。

(2) 解析領域、境界条件

解析領域を図1に示す。建物はx方向に長さ**b=60mm**、高さ**H=40mm**である。モデル検証用の気温実測データは建築研究所の温度成層風洞を用いて取得した。実験では床面を60℃に加熱した領域に都市キャノピーを模擬した木製ブロックを70個基盤目状に配列し、その領域に市街地上空の風速勾配に従う1/4乗則の鉛直プロファイルの風、及び、25℃一定のプロファイルを持つ気温を流入させている。

流入境界条件は、風洞試験の風速・乱れエネルギー分布等を補間して与える（最大風速は1m/s、気流温度 $\theta_0=25^\circ\text{C}$ ）。上空は対称境界条件、流出面は各諸量Neumann境界条件とする。また、風洞壁を模擬するため、側面は固体壁扱いとし速度に一般化対数則、温度にNeumann境界条件を与える。床面は、速度に一般化対数則を与え、床面温度 $\theta_b=60^\circ\text{C}$ に設定して熱伝達境界条件とする（上流部は25℃。図1参照）。

尚、建物ブロックは固体壁扱いとし、速度に一般化対数則を与える。

(3) 解析ケース

ブロックの配置間隔 L を以下のように設定した。
 ケース1：30 mm（108個=12個（X）×9個（Y））
 ケース2：50 mm（70個=10個（X）×7個（Y））
 ケース3：70 mm（54個=9個（X）×6個（Y））

3. 研究成果

図2にケース1における式(1)の各項を比較したグラフを示す。各項それぞれx、y、zの3成分について図示している。ただし、床面近傍の3点は誤差が大きいため参考値としている。図より水平方向（-）および鉛直方向（-）の移流成分がキャノピー内部、上空において卓越していることがわかる。また、キャノピー高さ程度までは(1)式の右辺第2項の鉛直成分（■）も熱輸送に寄与しており、数値モデルにおいて小さいとして通常無視されている上記第2項の寄与は無視できないと考えられる。

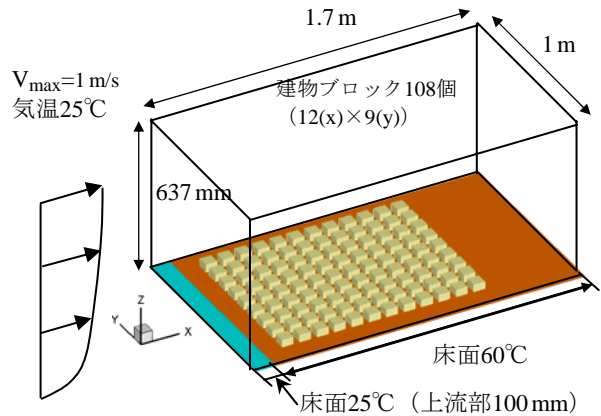


図1 解析領域

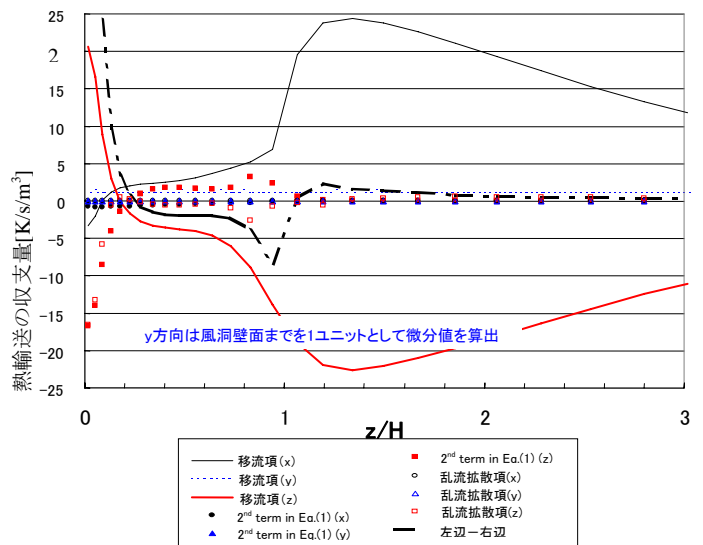


図2 ケース1における各項の比較

東アジアにおける半揮発性エアロゾルのガス-エアロゾル分配変化を通じた間接的酸性化効果

梶野 瑞王¹・植田 洋匡²

¹京都大学防災研究所、²（財）日本環境衛生センター酸性雨研究センター

1. 研究目的

Kajino *et al.* (2005) は三宅島火山の噴火に伴って増加した硫酸エアロゾルが、エアロゾル中の硝酸を気相に追い出す事により、八方尾根において硝酸ガスによる酸性沈着を促進していた事を地上観測と数値計算により明らかにした。将来的にSO₂の排出量が増加すると言われていたアジア域において、同様のメカニズムにより大規模排出源の風下域において硝酸沈着量が増加すると考えられる。本研究ではStreets *et al.* (2003) のアジア域排出インベントリとAIM/Trendモデル(Fujino *et al.*, 2002)を用いて合理的な将来予測インベントリを作成し、エアロゾル化学輸送モデル(Kajino *et al.*, 2004)を用いて、この間接的酸性化効果を評価した。

2000年の2.42倍)を用いた時の、硝酸沈着量(乾性+湿性)の増加割合(%)の計算結果である。ベクトルは月平均地表風速(m/s)を表す。SO₂以外の排出量は2000年と同じものを使用し、気象場は2001年3月のもを用いている。NO_x排出量に変化しないにも関わらず、間接効果により風下域で硝酸沈着量が月平均で最大1.5倍程度増加した。

参考文献

- Kajino M., H. Ueda, H. *et al.* (2004), *J. Geophys. Res.*, 109, D21204, doi:10.1029/2004JD004762.
 Kajino M., H. Ueda, H. *et al.* (2005), *J. Geophys. Res.*, 2005JD005879, in review.
 Fujino J. *et al.* (2002), *Climate Policy Assessment*, Springer, pp. 217—232.
 Streets D. G., *et al.* (2003), *J. Geophys. Res.*, 108(D21), 8809, doi:10.1029/2002JD003093.

2. 研究結果

計算結果の一例を示す。図はFW (Security First) シナリオ(貧富格差拡大による紛争を回避する為の積極的産業開発)に基づく2030年SO₂インベントリ(中国で

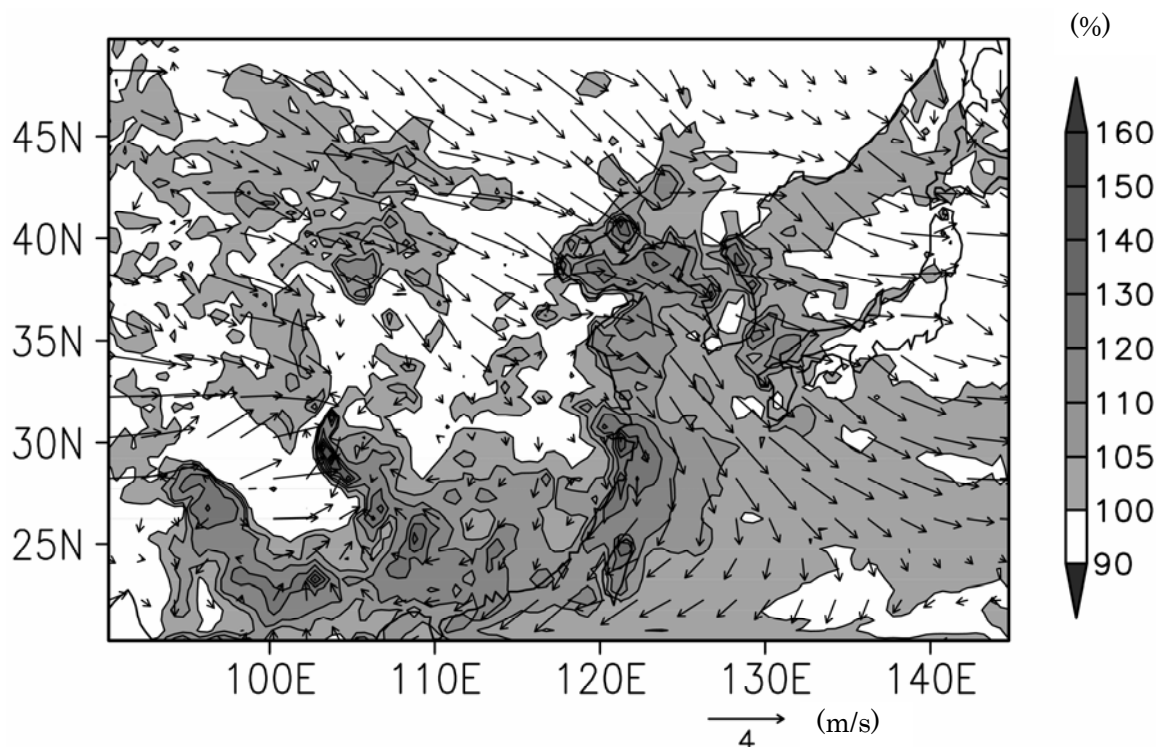


図1 FWシナリオに基づく2030年SO₂インベントリを用いた時の、月平均硝酸沈着量(乾性+湿性)の増加割合(%)の計算結果(2001年3月)

積雲対流と大規模運動の相互作用についての数値実験： 雲活動の自発的集中化のメカニズム

中島 健介¹・小高 正嗣²・杉山 耕一郎²・北守 太一²
¹九州大学大学院理学研究院、²北海道大学大学院理学院

1. 研究目的

地球の熱帯雲活動は、個々の積雲から始まって、メソシステム・クラウドクラスター・総観規模擾乱・惑星規模の擾乱、そして気候学的構造に至るまで、種々の時空間スケールの構造を持つ。これらの構造のうち停滞性で大規模なものは、通常、海水温の非一様などの外的強制に支配されると考えられている。しかしこれまでの研究により、その様な外的条件が無くとも、一万キロを超える規模を持つ停滞性の雲活動集中化が起こる場合があることがわかった。今年、この雲活動集中化のメカニズムを調べた結果を報告する。

2. モデルと実験設定

使用したのは非弾性方程式系に基づく水平鉛直の2次元モデルであり、簡略な雲微物理過程を含む。計算領域は鉛直約23 km、水平には32,768 km(周期境界条件)である。分解能は鉛直可変であり約600 m、水平は固定で2 kmである。モデル大気の下には固定したSSTの海面をおく。熱、水蒸気供給の計算における海面風速は時間・空間的に一定とし、放射冷却に対応する内部冷却を与える。計算は約30日行った。

3. 成果

これまでの研究により、大規模な停滞性雲活動の存否は放射冷却の鉛直構造に敏感であり、冷却が上層で強い場合に顕著になる。この選択性はwave-CISKによる伝播性雲活動の存否(Hayashi, 1970)と同じである。Nakajima(2002)は、放射冷却が中層で弱く下層と上層で強い場合にも伝播性雲活動が起こる事を示した。そこで、この場合についても停滞性の大規模集中化が起こるかを調べた。その場合、図1に示すように、やはり波長数千キロの伝播性組織化に重なって停滞性の波長3万キロの雲活動の濃淡が成長してくる。この結果は、停滞性大規模組織化が起こる条件と、伝播性組織化が起こる条件との共通性を、さらに強調する。

波長数千キロの伝播性構造と波長3万キロの停滞性構造がなぜ共存するかは問題である。wave-CISKの線形論(波長は予言できない)を再検討してみると、下層の鉛直流と雲加熱の結合が「中程度」の場合に伝播

性不安定擾乱が、非常に強い場合には停滞性不安定擾乱が生じることがわかる。そこで、数値計算の結果を水平方向のスペクトル分解し、降水量(雲の加熱と対応する)と下層鉛直流の対応の波長依存性を調べた。その結果、降水量の振幅と鉛直流の振幅はほぼ比例し、その比例係数は長い波長ほど大きいことがわかった。これは先のwave-CISKの予言と合致する。ただし、このような傾向は、放射冷却が下層で強い実験(大規模停滞性組織化は生じない)でも同じである。したがって、波長3万キロの停滞性構造が成長するためには、それより短い波長の擾乱が伝播性であることが、やはり、重要であるのかも知れない。

4. 現実大気における雲構造との関係

一連の実験は非常に理想化したものであるが、このように雲活動が潜在的に持っている大規模に集中しやすいという特性や、気候の形成や変動特性の研究、および、そのモデリングにおいても念頭におく必要があると思われる。

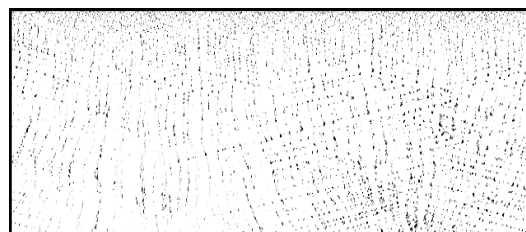


図1 モデル内の降水量分布の時間発展。横軸は、モデル内の水平方向(32,768 キロ)、縦軸は計算時間(下向きに進む)を示す。

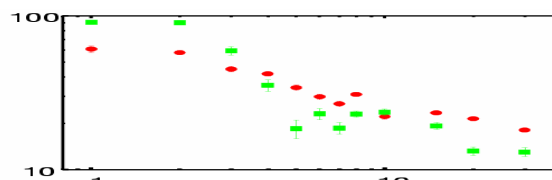


図2 数値モデル内における降水量と鉛直流(高度1.5キロ)の結合定数の水平スケール依存性(横軸:水平波数、縦軸:比例係数)。緑のマークが上層で放射冷却が強い場合(停滞性大規模組織化が生じる)、赤のマークは下層で放射冷却が強い場合(停滞性大規模組織化は起こらない)。

A Comparison of Numerical Simulation and Wind Tunnel Experiment on Unstable Stratified Flow within and above a Modeled Urban Canopy

Weiming SHA¹, Toshio ABE², Yasunobu ASHIE²
¹Tohoku University, ²Building Research Institute

1. Introduction

When thinking of the microclimate or the air quality in an urban city, the airflow structure and turbulent exchange in the urban boundary layer should be pre-determined since they control the wind, temperature and pollution concentrations. The urban canopy is considered as a typical morphological unit in the urban boundary layer, and therefore much research has been focused on it in terms of understanding its dynamics and energy balance. In the present work, we implement and apply LES (Large Eddy Simulation) numerical model and wind tunnel to investigate the stratified flow within and above a modeled urban canopy. The focus of this work is to compare the LES results against the wind-tunnel measurements of the modeled urban canopy flow, and to examine the temporally average structures of the thermal canopy flow.

2. Outline of Wind Tunnel Experiment

The thermal stratification wind tunnel at Building Research Institute (BRI), Japan, was used. In the BRI wind tunnel the urban atmospheric boundary layer was simulated by using roughness elements set on the approaching area floor. In this study, the experiment was carried out under an unstable atmospheric condition. The Reynolds number Re and Richardson number Ri are 2667 and -0.2, respectively. To simulate a typical urban canopy for case of the low-rise building residential area, a model that consists of 70 wooden blocks of the dimension 60 mm×60 mm×40 mm was used. An auto-traverse system was built up for sampling 3D field data of the wind velocity and temperature within and above the modeled urban canopy layer.

3. Outline of Numerical Simulation

The urban-canopy-resolving meteorological LES numerical model, which has been developed recently in Tohoku University, was utilized. The model coded in the Cartesian coordinate has been verified well to treat any complex object (buildings in urban boundary layer, etc.) explicitly with a finer resolution. In this modeling, values of the Re and Ri were set to those of the wind tunnel experiment.

4. Results and Conclusions

The comparison between the simulated and measured wind speed and temperature fields at the sampling locations within and above the urban canopy has been done. The prediction from the LES model modeling was compared with available data obtained from the wind tunnel experiment. The agreement between the predicted mean velocity and temperature within and above the urban canopy layer and the experimental data is generally good. Quantitative features in mean vertical profiles of the velocity and temperature were also reproduced well. The comparison of the predicted and observed flow quantities in the modeled canopy layer indicates that the LES modeling is accurate enough to warrant its application to the prediction of flows within and over other more complicated urban canopy layer.

成層圏オゾン層の過去 25 年の化学-気候モデルによるシミュレーション

柴田 清孝・出牛 真
気象研究所環境・応用気象研究部

1. 研究目的

フロンガス等のオゾン層破壊物質がこれまでの長期のオゾン層変動に及ぼした影響の評価、CO₂などの温室効果気体の増加が今後のオゾン層変動に及ぼす影響の評価を通して、これまでのオゾン層保護対策の効果を評価すると共に今後のオゾン層変動予測に関する科学的知見を化学-気候モデルを用いて提供する。

2. 研究概要

中緯度域を中心にこれまでの長期オゾン減少をもたらした要因とその寄与を、これまでの観測データの解析を行なうと共に、化学輸送（化学-気候）モデルを用いて異なるハロゲンシナリオ下で数値実験を行い、オゾン減少をもたらした要因の寄与を明らかにする。今回は 1980 年から 2004 年までについて観測された全てのフォーシングを化学-気候モデルに与えて時間積分し、過去の化学種や成層圏大気がどの程度再現されているかを調べるものである。

主な設定を以下に示す。

(1) モデル

気象研究所の化学-気候モデル T42L68、水平分解能約 300 km、成層圏での鉛直分解能 500 m。

(2) SST、温室効果気体、フロン

観測された SST、海氷分布を使い、CO₂、CH₄、N₂O とハロゲン類の濃度を地表面において全球一様に時間（日にち）の関数で与えた。

(3) 火山エアロゾル

観測から見積もられた表面積、消散係数、有効半径を時間の関数（日にち）で与えた。この期間の主な火山噴火はエルチチョンとピナツボである。

(4) 太陽紫外線変化

11 年周期に伴う紫外線強度を 1 nm の分解能で与えた。

(5) QBO

モデル自身で QBO を再現している。

3. 研究成果

モデルの結果を種々の成分（トレンド、太陽 11 年周期、火山エアロゾル、QBO、ENSO）について、係数

に年周期、半年周期、1/3 年周期を含む重回帰解析を行った。最近の約 20 年において成層圏オゾンは減少トレンドにあるが、コンスタントに減少しているのではなく、季節（月）に大きく依存している。図 1 はモデルと観測（TOMS）によるオゾン全量のトレンドの月-緯度断面を示す。減少の大きいのは南半球高緯度の晩冬（8 月）から夏（1 月）にかけての境域であり、これはほぼ毎年起きるオゾンホールが原因である。北半球においても真冬（1 月）の中緯度から春（4~5 月）の高緯度にかけて有意なオゾン減少が見られる。モデルは両方とも、程度は過大評価（減少が大きすぎる）しているものの、その時間-空間の領域を再現している。しかし、モデルは広い領域でオゾン全量の減少をシミュレートしており、特に低緯度の減少トレンド、これらは観測では見られない。

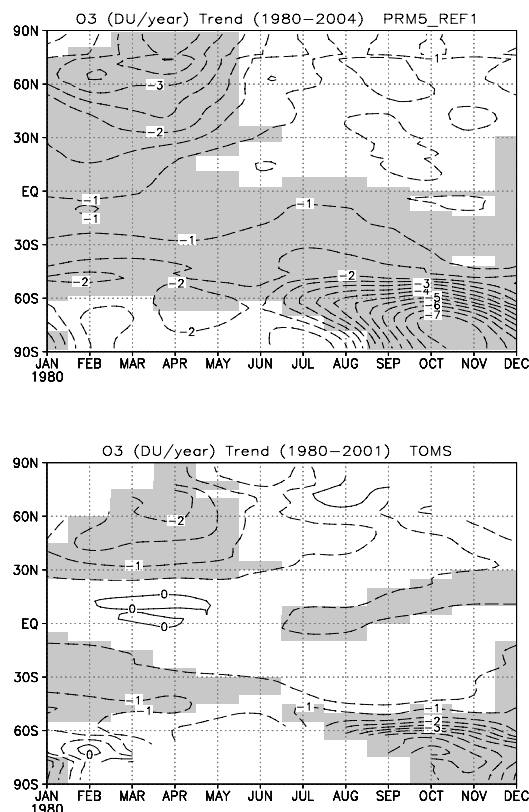


図 1 オゾン全量のトレンド (DU/年) の月-緯度断面。モデル (上)、TOMS (下)。等値線間隔は 0.5、陰影は 95% の有意水準を示す。

大気大循環モデルの中で発達する擾乱の空間構造について

山根 省三^{1,2}

¹千葉科学大学危機管理学部環境安全システム学科

²海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター

1. 研究目的

大気の運動は、一般に、不規則で不安定であることが知られている。そのため、わずかに異なる初期値から始めた大気シミュレーションの結果が、大きく異なる様相を呈することは珍しくない。この大気的不安定は、対流性不安定や地形性不安定、傾圧性不安定など理論的に良く知られている様々な不安定と密接に関連しているものと考えられる。これらの個々の不安定の特徴や働きについては、理想化され、線形化された状況においてそれぞれ深く理解されている。しかし、数値天気予報の精度に直接的に関係する大気的不安定とこれらの理論的な不安定との間の量的な関係については、必ずしも明快に理解されているわけではない。本研究では、大気的不安定の特徴の理解を深めることを目的として、大気大循環モデルを用いて、わずかに異なる初期値から始めたシミュレーション結果の違いの特徴を定量的に調べることを行った。

2. 数値実験の概要

解像度T159L48(水平解像度 125 km, 鉛直 48 層)の大気大循環モデルに成長モード法(Toth and Kalnay 1997)を適用してモデル内で発達する擾乱の特徴を調べた。観測された海面水温と海氷の分布を境界条件として与えて、適当な初期値からモデルを3ヶ月間積分し(2006年1月1日から4月1日まで)、最初の2ヶ月をスピンアップの期間とした。3月1日から成長モード法の適用を開始し、6時間毎に擾乱の大きさを修正しながら、基準解に沿って擾乱を15日間成長させ続けた。ここでは、修正する擾乱の大きさを、擾乱の領域平均エネルギーが $1 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ となるようにした場合(実験A)と、 $16 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ になるようにした場合(実験B)の二つの場合について計算を行った。成長モード法では、擾乱は非線形モデルの中で発展するため、この修正する擾乱の大きさに依存して、発展する擾乱の構造は変化すると予想される。

3. 実験結果

図1に、15日間成長させて得られた擾乱の500 hPa 高度場の空間構造を示す。実験Aの擾乱(上図)と比較

すると、実験Bの擾乱(下図)は、中・高緯度帯に比較的大きな空間構造を持ち、その卓越スケールから判断して、この擾乱の発達は傾圧不安定に支配されていると考えられる。一方、実験Aの擾乱は、実験Bと同様に、中・高緯度帯に大きな振幅を持つが、その空間スケールは小さく、また、熱帯性低気圧に関連する擾乱の発展も見られる(日本の南海上)。擾乱のエネルギーを運動エネルギー、熱エネルギー、水蒸気エネルギーに分けて見た場合、実験Bの擾乱の水蒸気エネルギーが全体のエネルギーの14%であるのに対して、実験Aの擾乱の水蒸気エネルギーは27%に達するという特徴が見られた。実験Aの擾乱の方が、雲の発生を伴うような不安定性と関連が強いことを示唆している。6時間の擾乱の平均拡大率は、実験Aが1.17倍であり、実験Bが1.11倍であり、大きさの小さい擾乱の方が大きな拡大率を示した。

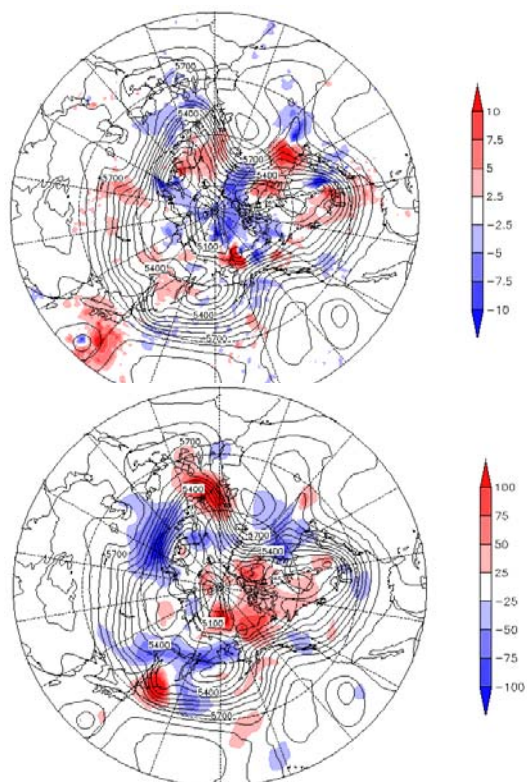


図1 15日間成長させ続けて得られた擾乱の500 hPa 高度場の空間分布(カラー)。6時間毎に擾乱の大きさを $1 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ とした場合(上図)と、 $16 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ にした場合(下図)。等値線はその時刻の基準解の500 hPa 高度場。

Inferring CO₂ Fluxes at Regional Scale by Inverse Modeling and Using Backward Atmospheric Tracer Transport

C. Carouge¹, S. Maksyutov^{1,2}, P. Peylin³, P. Bousquet³, P. Rayner³, P. Ciais³, T. Machida¹,
K. Shimoyama¹, M. Arshinov⁴, O. Krasnov⁴, B. Belan⁴, G. Inoue^{1,5}
¹NIES, ²FRCGC/JAMSTEC, ³LSCE, Gif sur Yvette, France,
⁴Inst. Atmospheric Optics, Tomsk, Russia, ⁵Nagoya University

1. Purpose

The limitation of the atmospheric concentration of carbon dioxide (CO₂) and other greenhouse gases is seen as a major issue in the next years. A first step is to fully understand and quantify the exchanges between the atmosphere and the other reservoirs of these gases. To do this, several methods exist among which the so-called inverse methods. In these methods CO₂ atmospheric concentration measurements are used to infer the distribution of CO₂ fluxes in time and space. The CO₂ concentration has been monitored all over the world for more than 50 years what brings us global information on CO₂ fluxes. Some regional networks of continuous measurement stations have been also developed as in Siberia by NIES. Indeed, since 2005, CO₂ concentration is continuously measured at five different sites. Using all these measurements in an inverse model, we intend to infer daily fluxes at our atmospheric model grid resolution over Siberia for the year 2005.

2. Method

To represent the atmospheric transport, we used the global circulation model LMDZ whose grid can be nested. We used this property to enhance the spatial resolution of the grid over Siberia up to 50x50 km², therefore improving atmospheric transport modeling over this region. In the chosen inverse technique, we need to calculate the sensitivity of each measurement to each flux by the chosen atmospheric model. The self-adjoint property of atmospheric transport of passive tracers has been implemented within LMDZ to limit the computing cost. The work on the Siberian region began few months ago; we thus decided to

illustrate the abilities of the method with a previous study realized over Europe for the year 2001. This study was based on synthetic data as constraints of our problem to study the potential of the European network. These data were simulated by forward atmospheric transportation of daily CO₂ fluxes from the biogeochemical model ORCHIDEE for the year 2001.

3. Results

In this study, we analyzed the results to estimate at which minimal scales, in space and in time, fluxes should be aggregated to compare the best with true fluxes from ORCHIDEE model. We based this comparison over two statistics: the correlation of the retrieved fluxes with the true fluxes and the ratio of the standard deviations of the retrieved and true fluxes. We showed the daily fluxes at grid cell resolution were hardly improved after inversion in a statistical sense. But after aggregating fluxes weekly and over a region of 700x700 km² at least, they compare very well to the true fluxes and much better than the fluxes used before inversion.

CCSR/NIES T42 化学気候モデルを用いたオゾン層の将来予測実験

秋吉 英治¹・吉識 宗佳¹・永島 達也²・高橋 正明³・今村 隆史¹・黒川 純一²
滝川 雅之⁴・L. B. Zhou¹・坂本 圭¹

¹国立環境研究所大気圏環境研究領域、²国立環境研究所アジア自然共生研究グループ、

³東京大学気候システム研究センター

⁴海洋研究開発機構地球環境研究フロンティアセンター

1. はじめに

化学気候モデル(CCM)は、オゾン層の将来にわたる変動要因を明らかにするのに有効なモデルである。南極オゾンホールといったような、非線形過程が働く極渦の状態に高度に依存した現象の理解のためには、化学気候モデルのような化学過程を結合した3次元大循環モデルを用いた研究が必要とされている。

本研究では、Nagashima et al. (2002)で開発した水平解像度 T21 ($5.6^\circ \times 5.6^\circ$) 化学気候モデルをさらに発展させ、WCRP 傘下の SPARC の下のプロジェクト、CCMVal (Chemical Climate Model Validation、化学気候モデル評価)で提唱されているハロゲン濃度の将来シナリオに沿ってオゾン層将来予測実験を行ったので、その結果について報告する。

2. モデルと数値実験

本研究で使用した化学気候モデルは、Nagashima et al. (2002)で使用した化学気候モデルを以下の点で改善したものである。

- (1) 水平解像度：T21→T42 ($2.8^\circ \times 2.8^\circ$)へ改良。
- (2) Hines (1997)による非地形性重力波ドラッグの導入。
- (3) 臭素化合物による化学反応の導入。
- (4) 極成層圏雲に、STS ($\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ の混合液滴)を追加、同時にこの粒子に関わる不均一反応も追加。
- (5) 極成層圏雲の個数密度を与えてその凝縮量から粒径を計算し、それをもとに落下速度を計算するように変更。
- (6) Schumann-Runge 帯 (177.5–202.5 nm)による27種の物質の光解離を導入。
- (7) 太陽放射に対する大気の大気球面効果を導入。

計算は、1975年1月1日から2051年1月1日まで行った。最初の5年間は助走ランとみなし、1980年1月1日以降の計算結果を解析した。CO₂、CH₄、N₂Oの将来シナリオはIPCC(2000)のA1Bシナリオを、オゾン破壊物質の将来シナリオはWMO(2003)のAbシナリオを使った。この計算は、CCMVal推奨REF2計算に相当するものである。この計算では、QBO、太陽11年周期、火山爆発による成層圏エアロゾルの増加の影響は除外されている。海面水温は、CCSR/NIES/FRCGCの大気海洋結合モデルのアウトプットを使った。

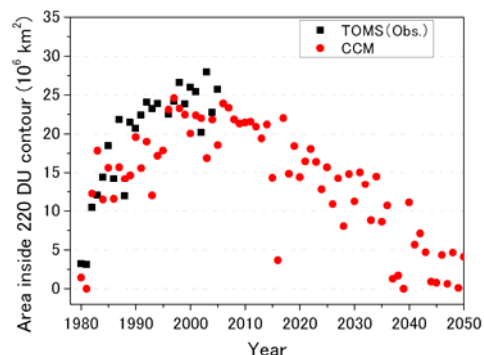


図1 オゾンホール面積(40°S以南の220 D.U.以下の領域の面積で定義される)の最大値の経年変化。黒がTOMS(観測値)、赤が化学気候モデルによる結果。

3. 結果

Nagashima et al. (2002)のモデルでは、11月にオゾン全量の極小が起こっていたが、前節で述べた化学気候モデルの改良によって、南極オゾン全量の10月極小が再現できた。主な理由として、南極渦が安定しすぎていたことと、南極上空の塩素濃度が低かったことによるオゾン破壊速度の過小評価が考えられる。

図1に、オゾンホール面積の最大値の経年変化を示す。オゾンホールが1980年頃から出現、1980年代に急速に拡大し、1990年代に入ってその速度が徐々に落ち、2000年頃にピークを迎えた様子がよくモデルで再現されている。さらに、将来にわたって計算を延長すると、2020年を過ぎた頃からオゾンホールの縮小傾向がはっきりとし始め、今世紀半ば以降にはオゾンホールは解消するであろう、という結果になった。図からも明らかなように、大気の力学的な年々変動のため、2050年でオゾンホールが解消したという結果にはなっていない。

発表では、以上のREF2実験結果およびREF1実験(QBOなどのファクターを導入した過去の再現実験)の解析から得られた結果についても紹介し、また、CCMValに参加している他の化学気候モデルの結果についても紹介する予定である。

参考文献

Nagashima et al. (2002), *Geophys. Res. Lett.*, 29(8), doi:10.1029/2001GL014026.

流域土砂動態モデルの適用による久著呂川流域の土砂収支解析

村上 正吾¹・林 誠二²

¹国立環境研究所アジア自然共生研究グループ

²国立環境研究所水圏環境研究領域

1. 研究目的

本研究で対象とする釧路湿原に流入する久著呂川流域では1960年代後半から80年代前半にかけ、流域内農業開発が進められた。上流域では伐採が容易な領域での伐採の結果、パッチ状の森林域が出現した。中流域では森林伐採後に進められた農地の保全と洪水災害防止のため部分的な河道改修が行われた。下流域では湿原を埋め立てるとともに農業排水路網整備、蛇行河道の固定化と直線化が進められた。その結果森林域の減少と農地拡大とが相俟って増大した流出土砂は、疎通能力の向上した河川を通じて釧路湿原に流入、氾濫堆積し、湿原の乾燥化という問題を引き起こしている。

2. 研究概要

湿原管理にとって必須となる土砂動態予測と『流砂系』における河川流域内農林地域での土砂動態予測のため、対象流域の環境情報のデータベースを前提として、流域面での(i)降雨流出モデル、(ii)土砂生産場から河道への土砂輸送モデル、(iii)河川流モデル、(iv)河道での流砂モデルの4つのサブモデルより構成される流域土砂動態モデルを提案した。なお、水による物質輸送の概念に忠実であること、地形特性、土地利用状況といった流出過程に及ぼす様々な要因の空間分布の取り込み易さの観点から、河川水系網において合流・分流を端点とする河道区間への集水域を単位流域としてモデル化し、これらを多数接続させることで流域全体を表現するベクター型のモデルを用いている。

3. 研究成果

用いた水文モデルである Stanford Model と河道網モデルとしての拡散波モデルとの結合モデルによる下久著呂流量観測点での河川流量に関する再現計算結果は、十分に傾向を表現していた。微細土砂濃度の時間変化の計算結果は、急激に立ち上がり、急激に減少する傾向を十分にとらえていた。これは特に河岸侵食が armor coat の破壊時、短時間に起こるため、他の成分は低濃度で継続するものと考えられる。

図1は、9月27日～9月30日の降雨・出水による久著呂川での伐採地・農地・河岸の3領域からの土砂生産量と各河道区間での平均河床高変化を示している。計算された洗掘・堆積の縦断方向の傾向は、従来の報告と類似している。また、計算結果によると、農地由来の微細土砂量は全微細土砂量の約40%を占め、これは従来の観測値をもとに推定した20～30%の2倍程度である。土地利用との関連では、上流域では伐採地と河岸が生産源になり、農地面積の増加とともに、農地が主な生産源になるものの、保全対策率の増加とともに減少する。また、河道の捷水路化・落差工設置の改修区間では、中流域ではあるものの河岸が土砂の生産源となっている。これらの結果は種々の仮定に基づいており、得られた結果は、一種の土砂生産ポテンシャルを表現しているものと判断される。

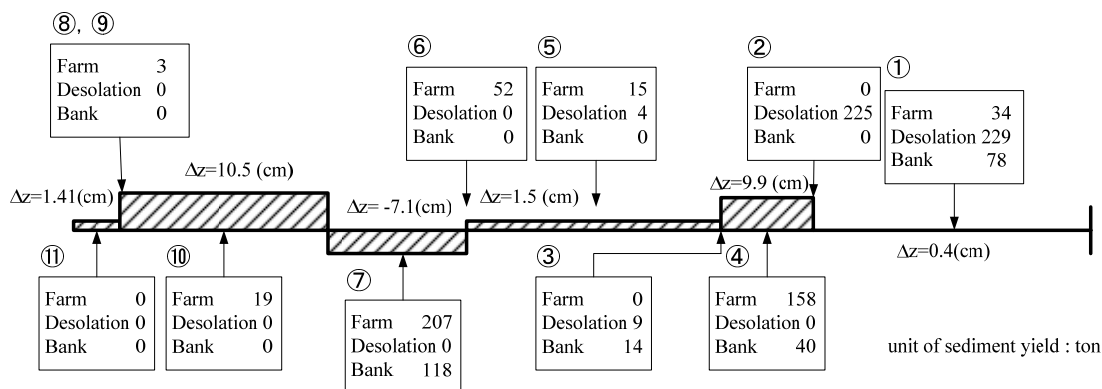


図1 一洪水時の土砂収支解析結果

コンピュータシステムの現状と将来

塚本 龍治

日本電気株式会社第一官庁システム事業部

1. はじめに

スーパーコンピュータは、科学技術計算分野の研究開発に必須な道具として、研究機関や企業の研究開発基盤として広く普及してきた。図は、80年代以降のスーパーコンピュータのピーク性能の変遷を示したものである。CPU性能の向上を上回るシステム性能の向上が図られている。これは、ハードウェアとソフトウェアの並列化技術の向上に因っている。

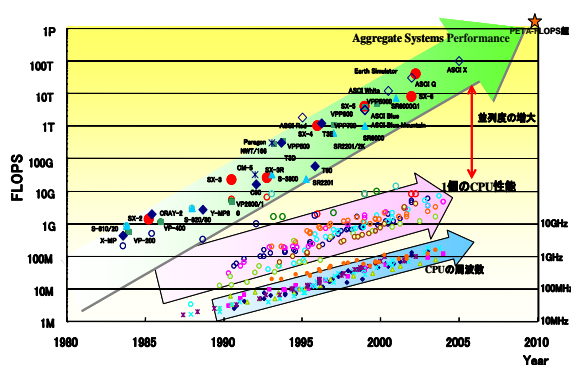


図 スーパーコンピュータのピーク性能の変遷

2. コンピュータシステムの現状

スーパーコンピュータのアーキテクチャは、大量のデータを一括して流れ作業のように処理するベクトル型と、汎用マイクロプロセッサを使用した並列スカラ型が広く普及している。複数のアーキテクチャが広く普及している一つの理由は、アプリケーションの多様化・広がりに対応した最適なアーキテクチャの選択が挙げられる。

このような状況において、いくつかの課題が明らかになってきた。並列度の増大によりシステムを大規模化してシステムのピーク性能を向上してきたことによる、システムの消費電力増大、冷却問題、設置面積増大、ピーク性能と実効性能との乖離などである。

これらの課題に対しては、システムの実効性能を向上させることが有用である。システムの実効性能を決定する3つの主要な要素は、高性能なCPU、高速なCPU-メモリ間データ転送、高速なノード間データ転送である。これらの能力が総合的に高いシステムが、今後のシステムの方向性となるであろう。

3. 将来のコンピュータシステム

大規模計算資源の確保や必要不可欠な基盤の整備に加え、利用者の効率、利便性の維持と高いセキュリティレベルの確保の両立したうえで、経年変化する幅広いニーズに対応でき、利用者に多様なサービスを提供していく必要がある。このような状況の中で、利用者にとってのサービスの高度化と投資対効果の最大化、更なる高可用性を達成し、環境情報センターの将来像を意識した次期コンピュータシステムを提供していきたい。

新システムの特長は、最先端テクノロジーを採用した高速計算機システムと高信頼性の大容量ファイルシステムである。

高速計算機システムにおける主要な計算機は、ベクトル処理用計算機 (SX-8R/128M16) およびスカラ処理用計算機 (Express5800/120Ri-2) から構成される。ベクトル処理用計算機 (SX-8R/128M16) は現行ベクトル計算機 (SX-6/64M8) とのバイナリレベルでの上位互換性を有しており、新システムの移行に伴うプログラム変換作業などは特に必要はなく、今までの資産をそのまま利用できる。

大容量ファイルシステムは、一定期間アクセスされないなど特定条件を満たしたファイルが階層型ファイルシステム (HSM) により自動的にマイグレートされる方式をとっている。また、大容量ファイルシステムへのアクセスはファイルサーバとの間で LAN free に行われる。これにより、データアクセスの高速化が実現されていくであろう。

4. おわりに

環境・気候・宇宙などの超長時間の現象を短縮、核融合・衝突・燃焼などの一瞬の現象を見えるようにする、気象・結晶/分子構造・安全解析などの実験不可能なものをコンピュータ上で実験するなど、スーパーコンピュータを活用した数値シミュレーションは、今後ますます活用の範囲が広がり、大規模かつ高速化が求められていくであろう。

このような求めに応えられるコンピュータシステムの提供を、継続的な技術革新にて、ベンダーとして実現していきたい。



連絡先：

国立環境研究所 地球環境研究センター
交流係

〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

TEL:029-850-2347 FAX:029-858-2645

E-mail: cgercomm@nies.go.jp

<http://www-cger.nies.go.jp/index-j.html>