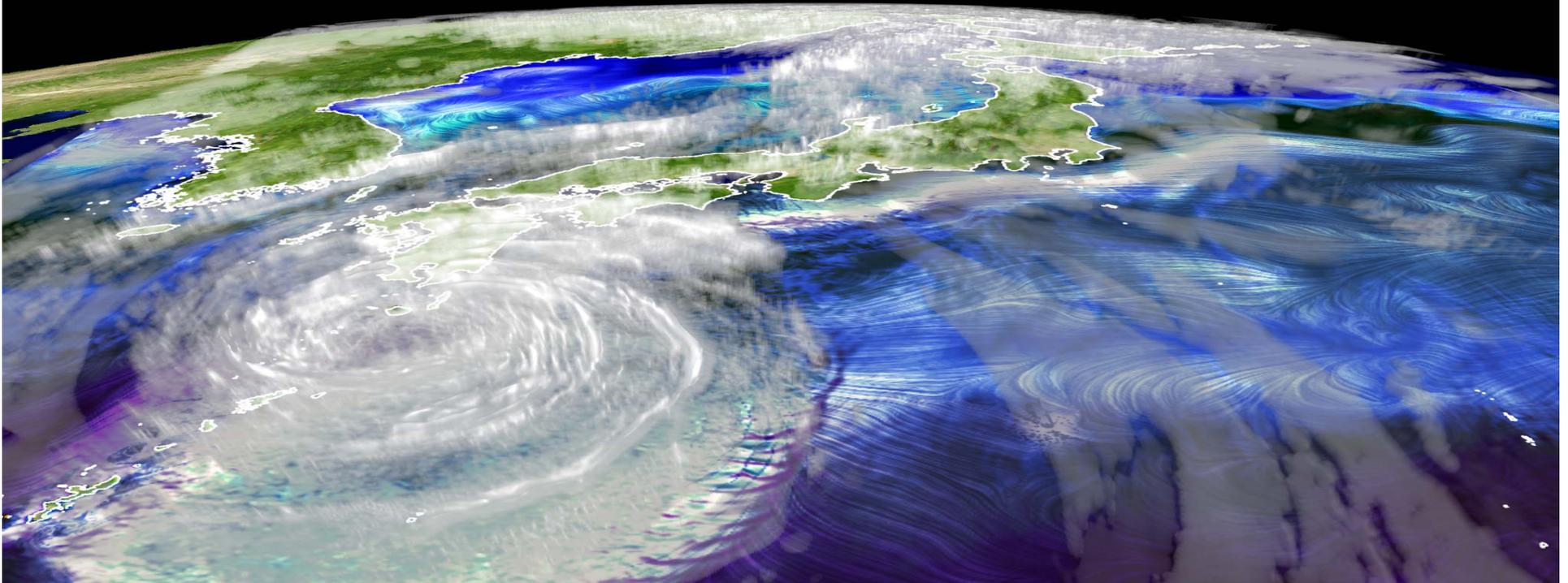




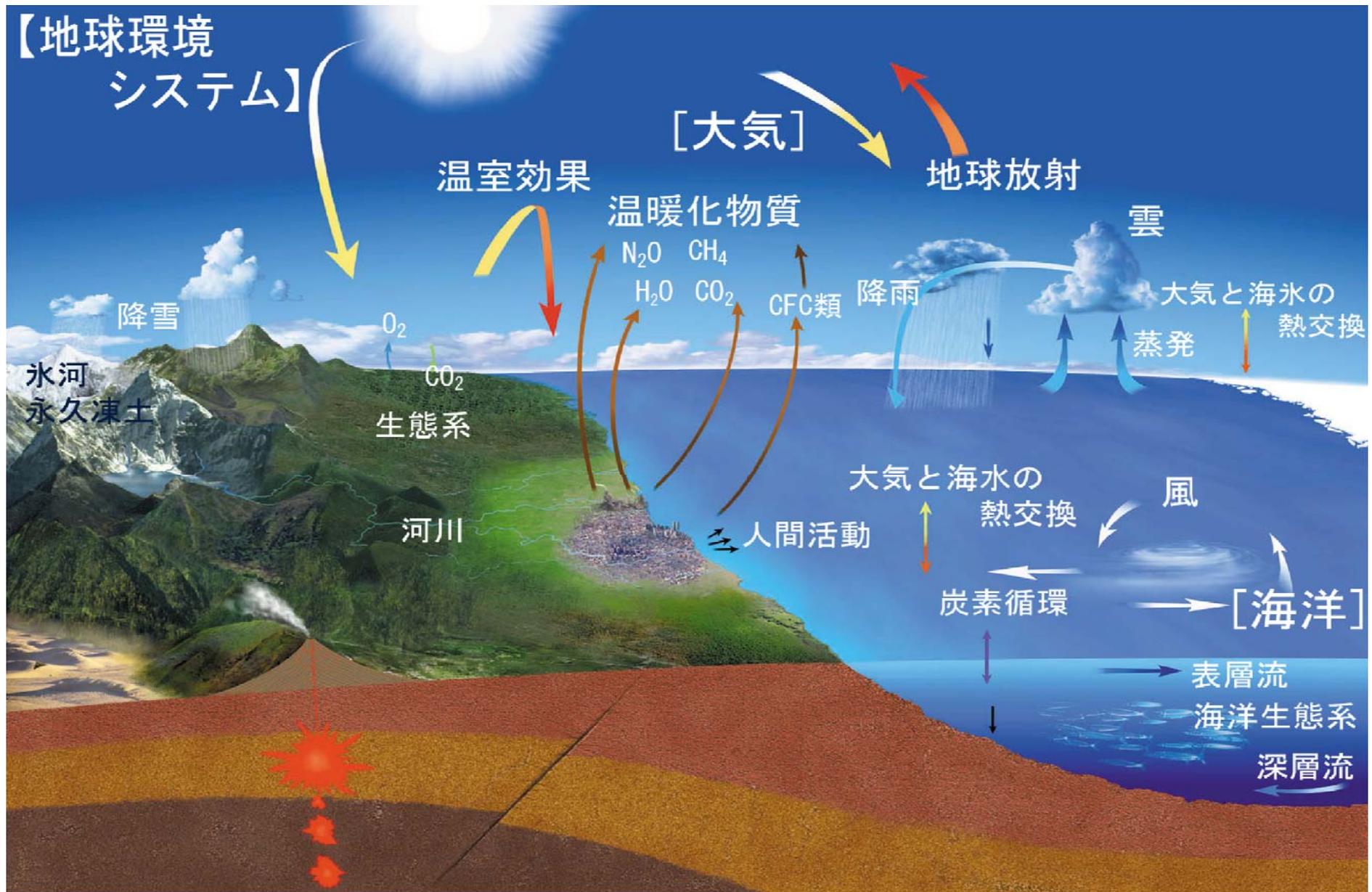
スーパーコンピューティングの展望
— 明日へのメッセージ — 地球科学



高橋桂子

(独)海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター

【地球環境システム】



現象と時空間スケール

大気

数分～数時間 数日～数ヶ月 数ヶ月～数年, 数十年

積雲



集中豪雨

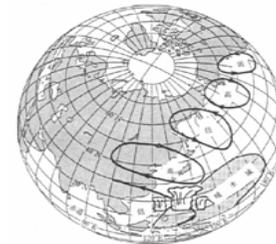
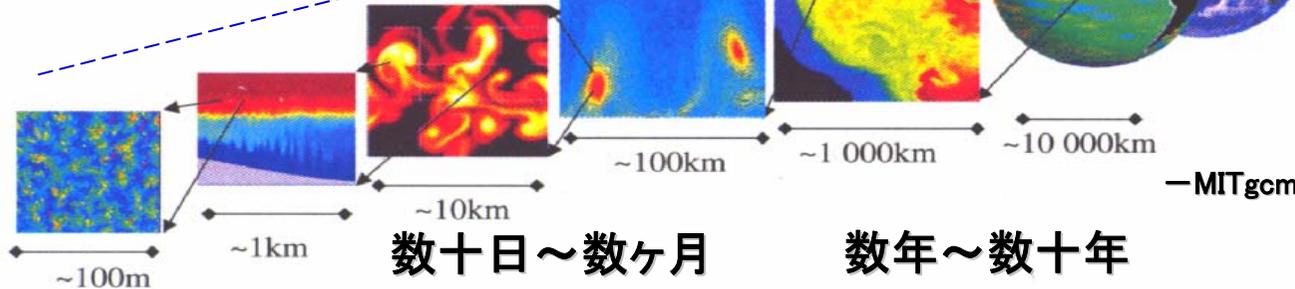


図4-15 円形対流セルの形成(Nitta, 1987)

竜巻



海洋

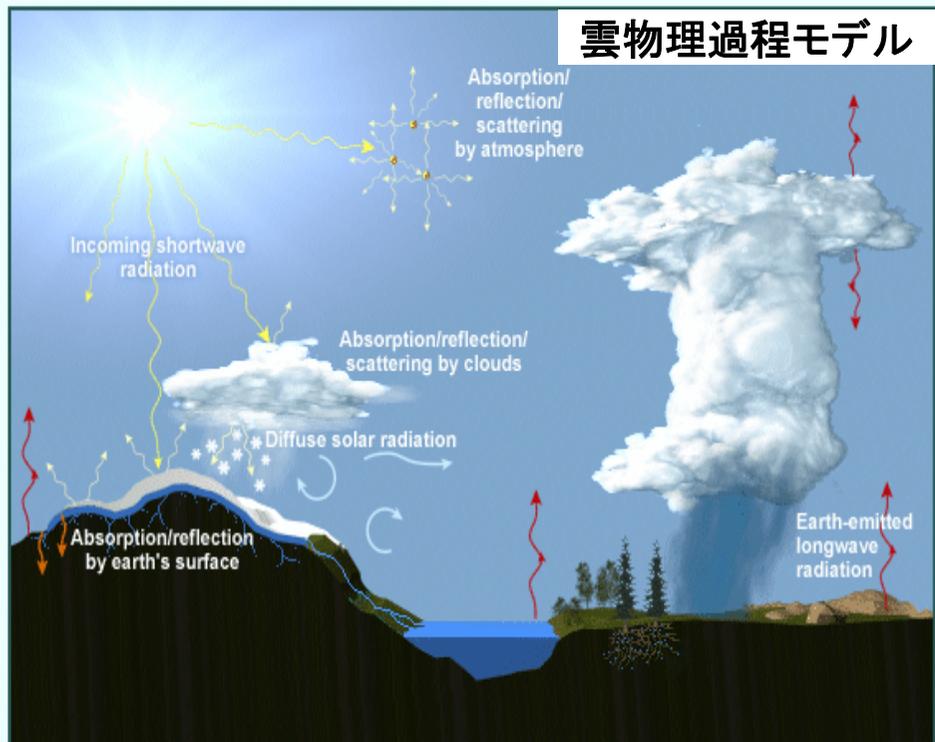


数十日～数ヶ月

数年～数十年

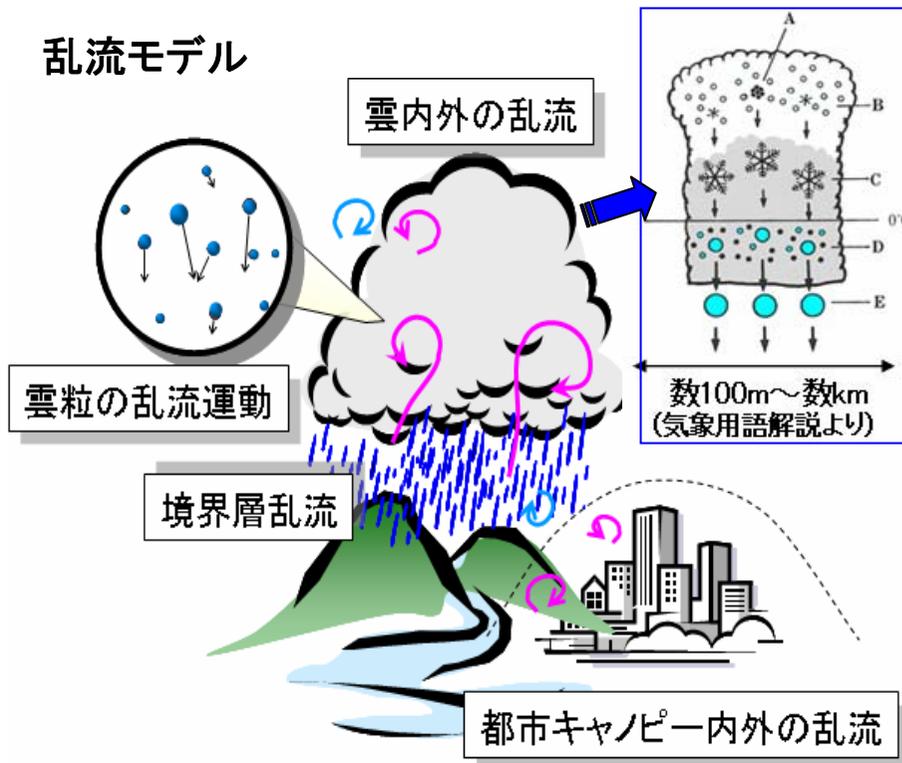
—MITgcmマニュアルより—

雲物理過程モデル

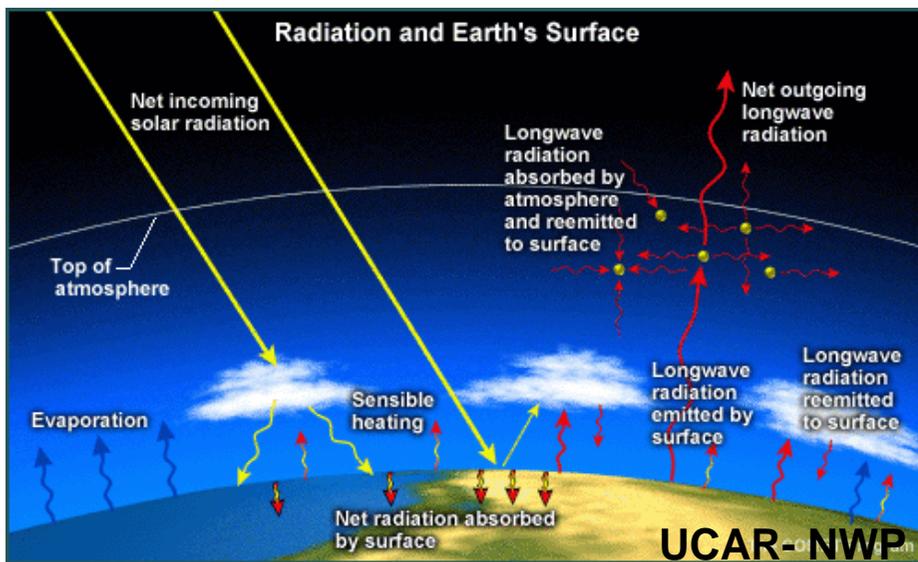


The COMET Program

乱流モデル



放射過程モデル



陸面モデル



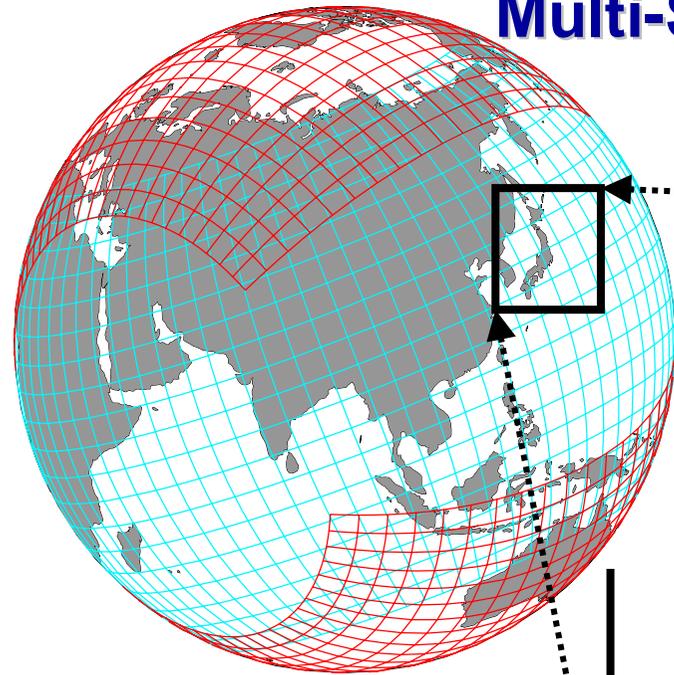
海氷モデル



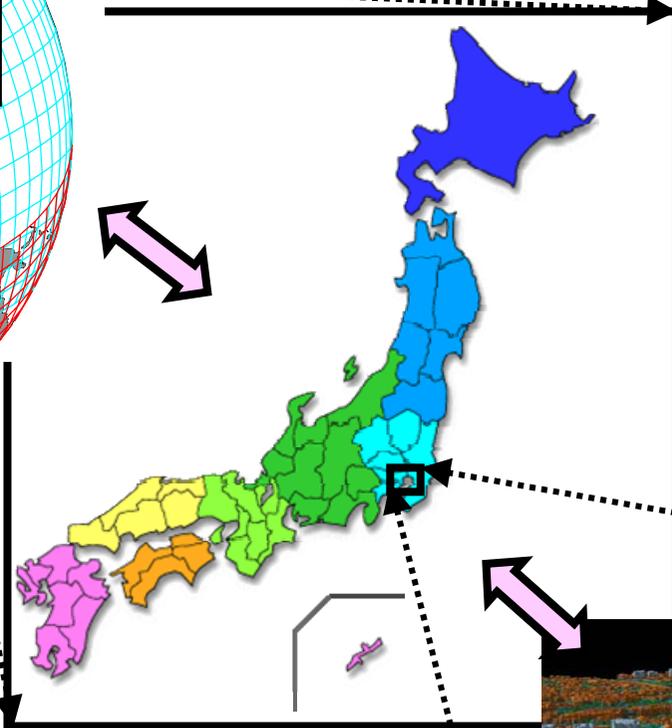
気象や気候の予測シミュレーションにおける要求事項

- **超並列・超高速計算の実現**
 - 高解像度であることへの要求
 - 長時間シミュレーションの必要性
 - 異なる時空間スケールを扱うために
- **高度な、きめ細かいプログラム管理**
 - 大規模プログラミング（数10万行）
 - 複数のマルチプログラミング（複数の構成要素モデルと相互作用）
- **先進的な計算手法の導入と開発**
 - せっかくの高精度、詳細情報をそこなわないために
- **物理モデルの高度化**
 - 乱流モデル雲モデル、放射モデルの高解像度化への対応
 - 大気海洋相互作用の高解像度化への対応
- **観測との相互連携**

全球/領域対応・非静力学・大気海洋結合モデル Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment (MSSG)



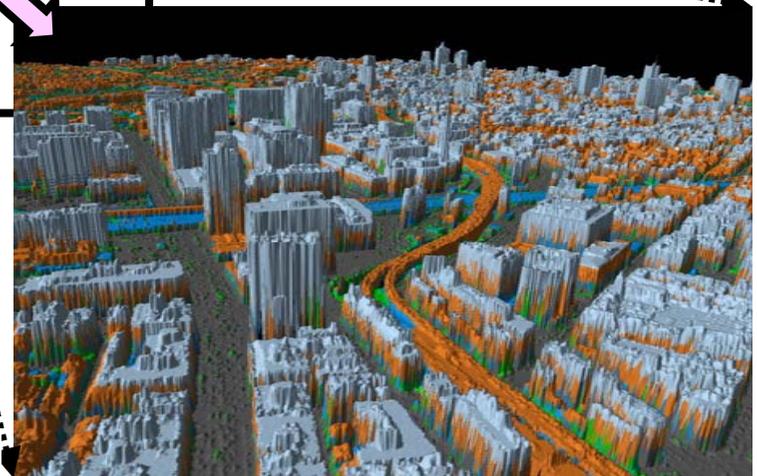
季節～年間の予測
約2km～10 km, 約100層



局地的現象の予測・数日～数週間
約100m～約2km, 約100層

都市性気候の再現と予測
数m～数100m, 約200層

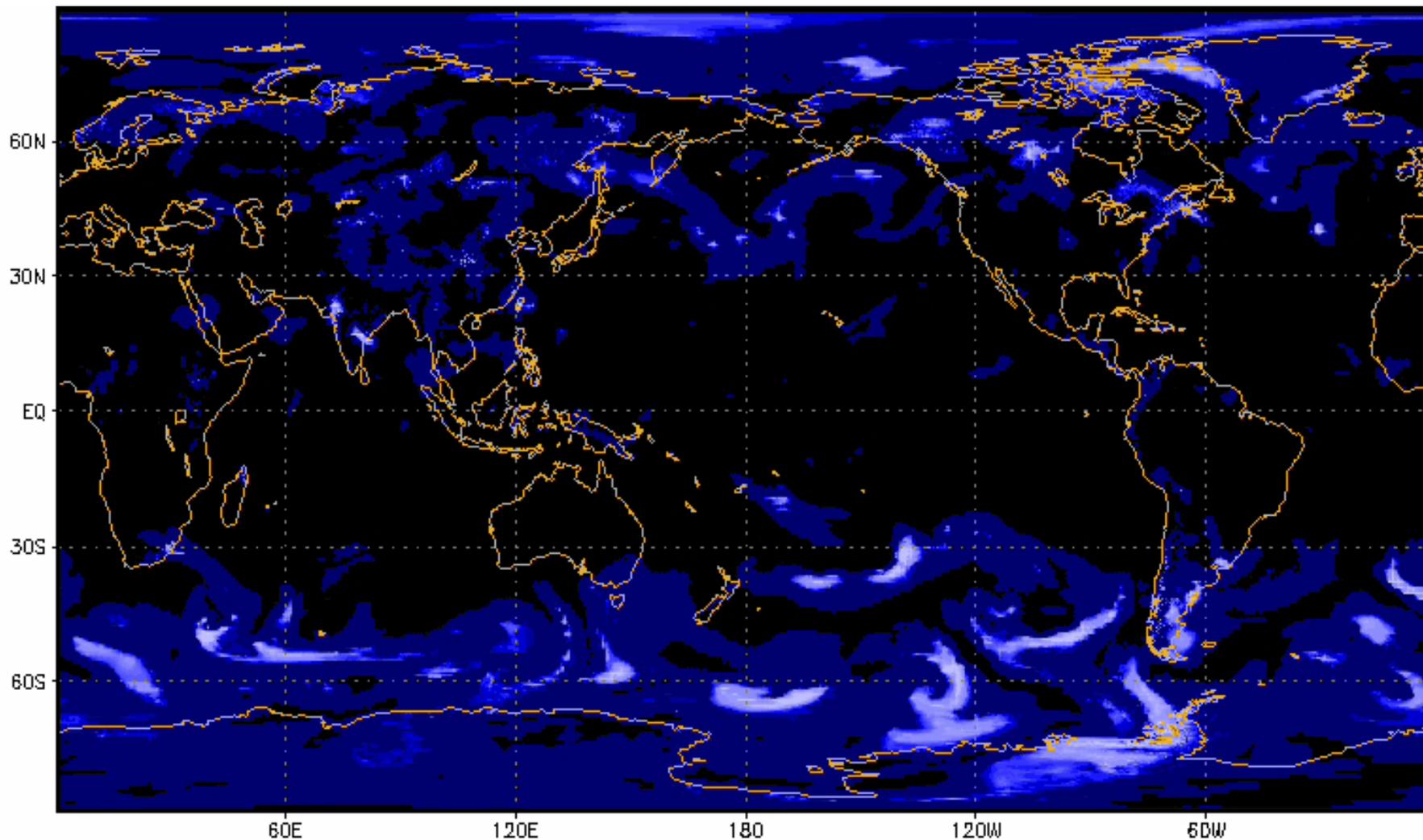
(地形データ: 国土地理院より)



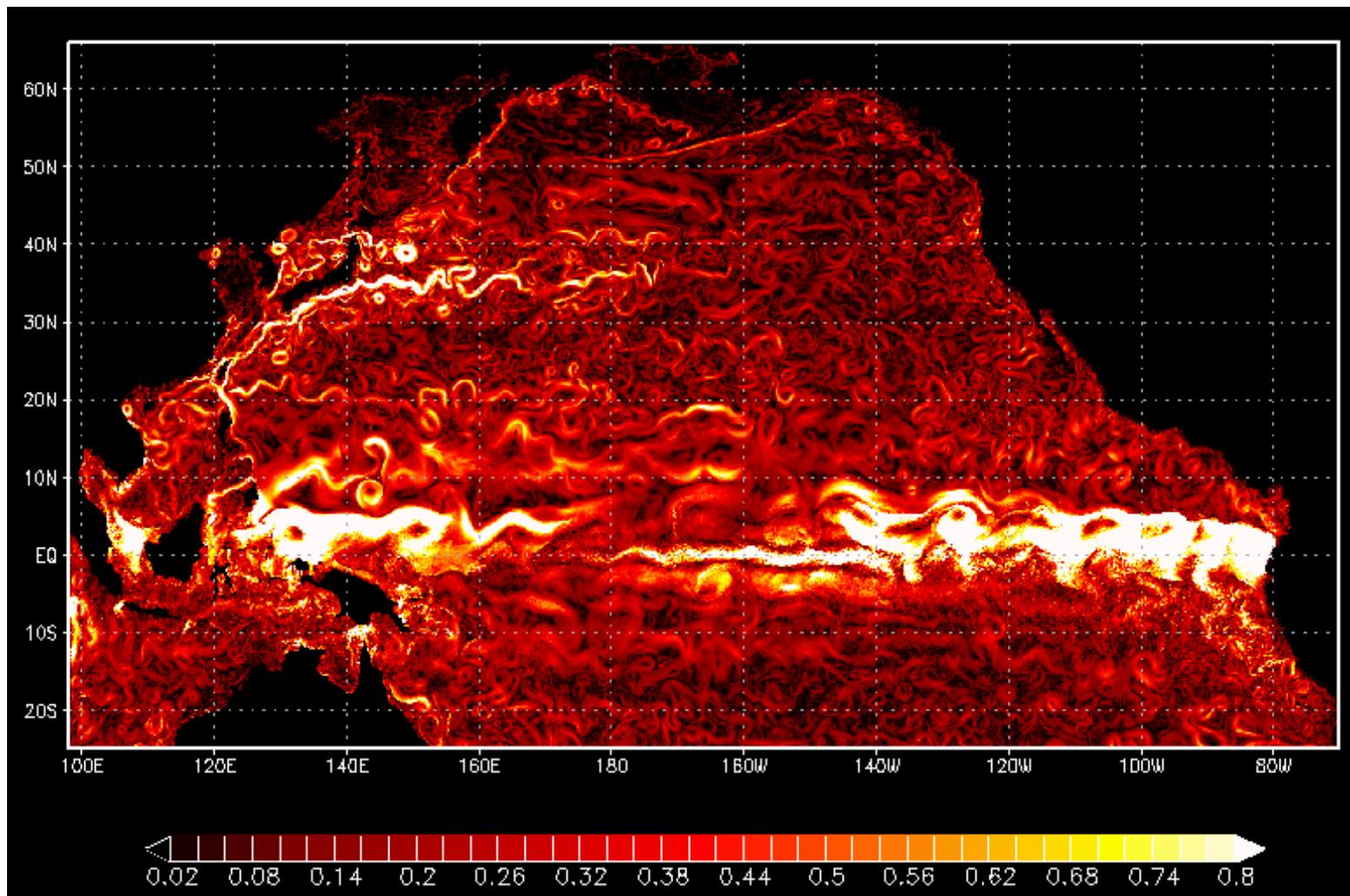
ターゲットとする
空間と時間の階層性

全球1.9km, 鉛直32層の全球シミュレーション 降雨分布

MSSG-A: 大気コンポーネント

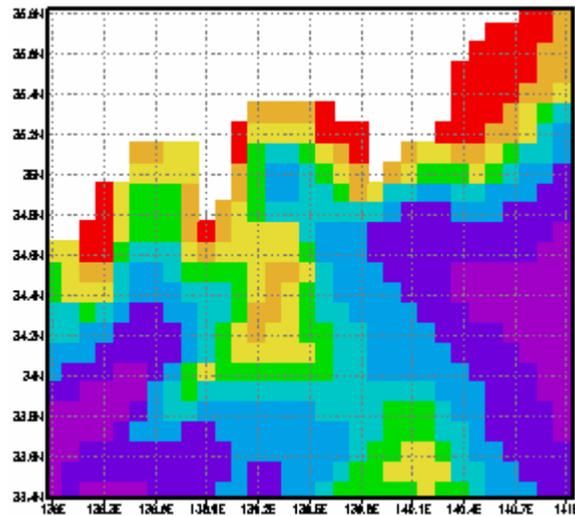


北太平洋のシミュレーション結果 現実的な海底地形, 1.3km 40層、15年積分

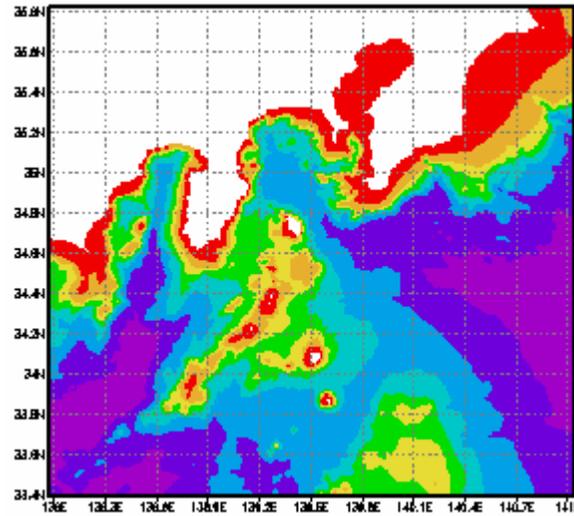


沿岸域におけるハインドキャストシミュレーション 海洋コンポーネント: MSSG-O

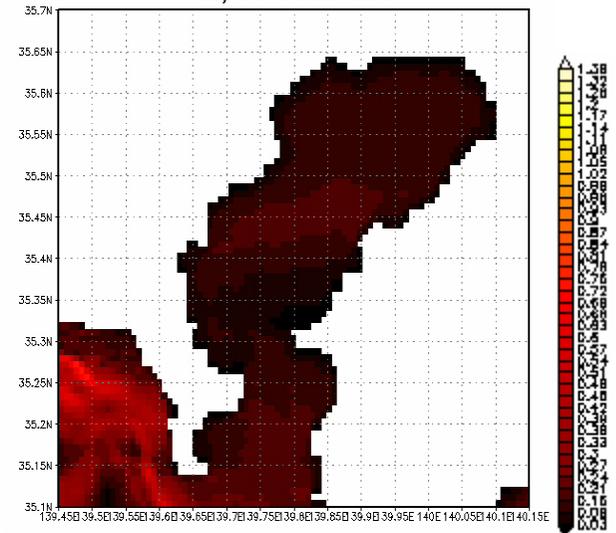
水平解像度: 11km, 鉛直層



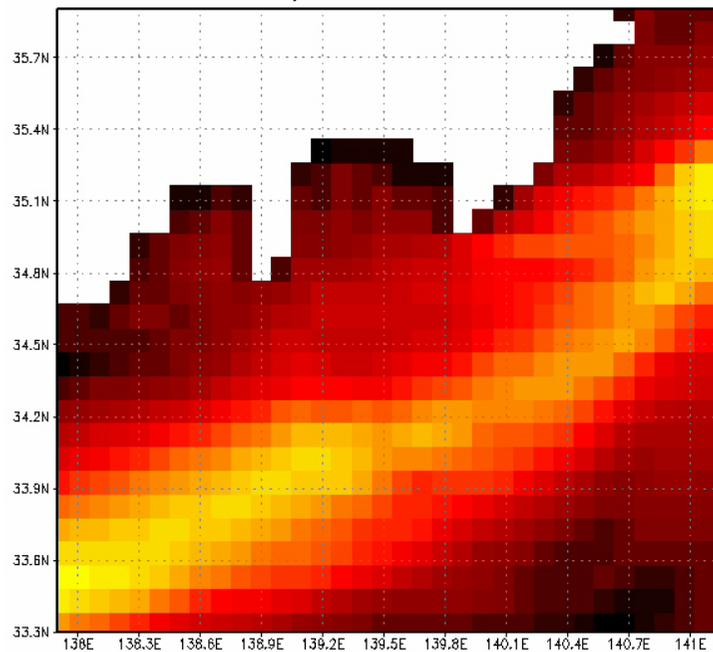
水平解像度: 850m, 鉛直層



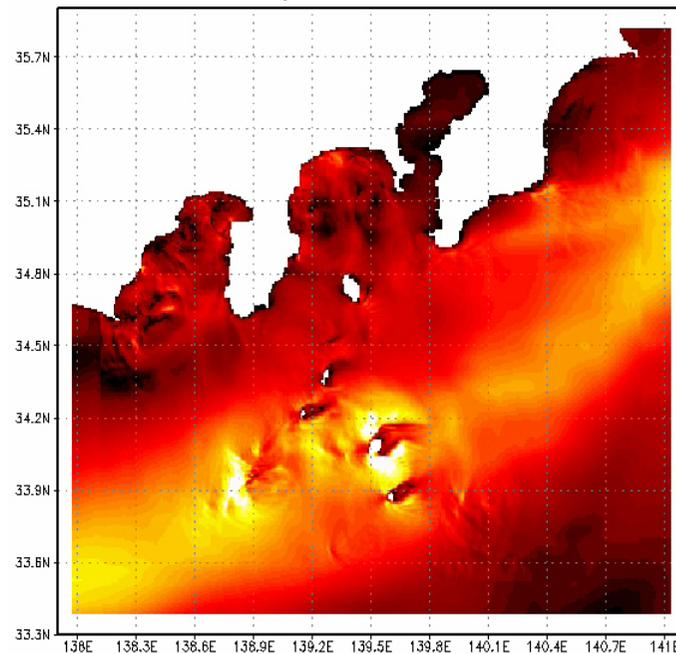
08/01 06:00 UTC



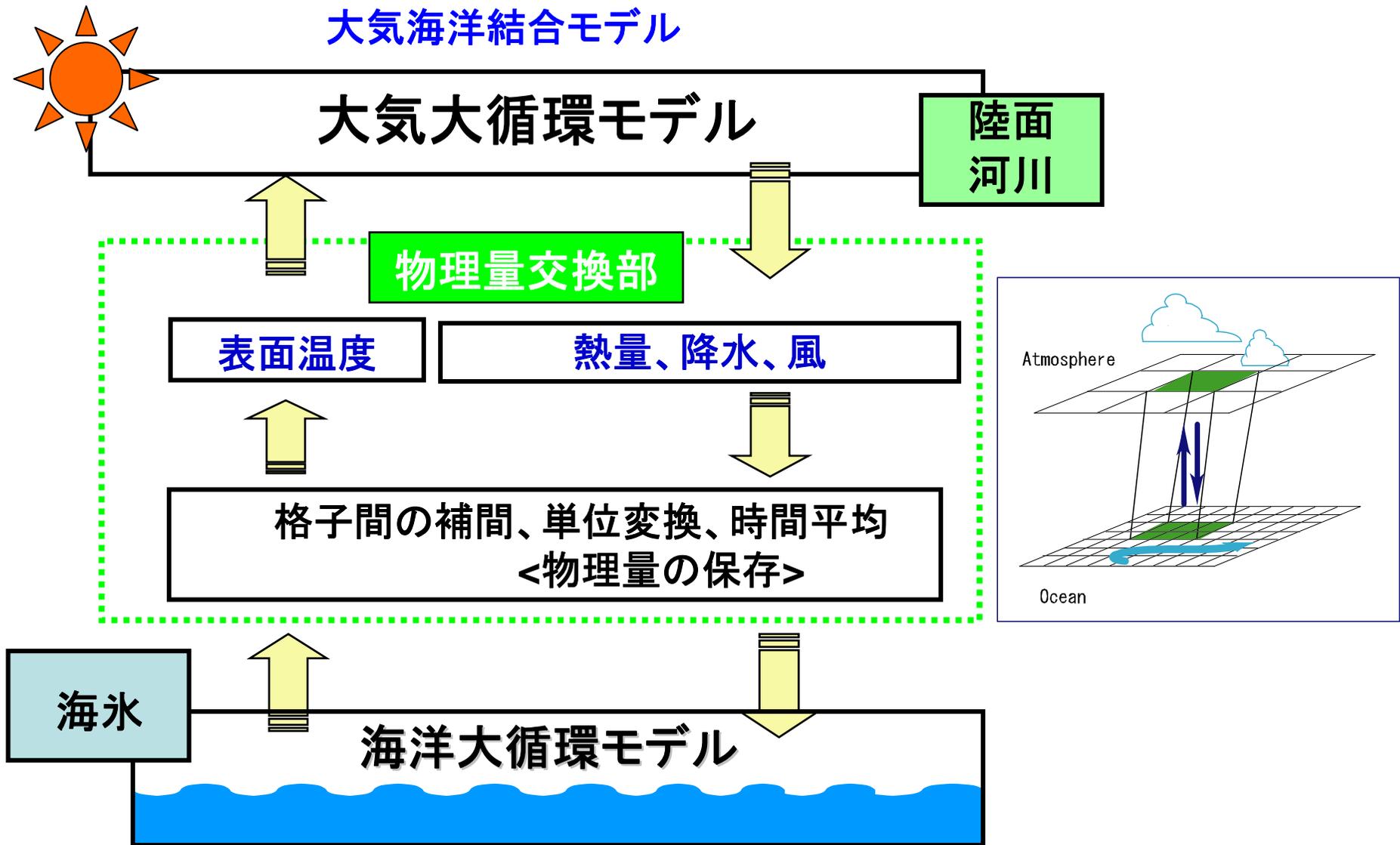
08/01 06:00 UTC



08/01 06:00 UTC

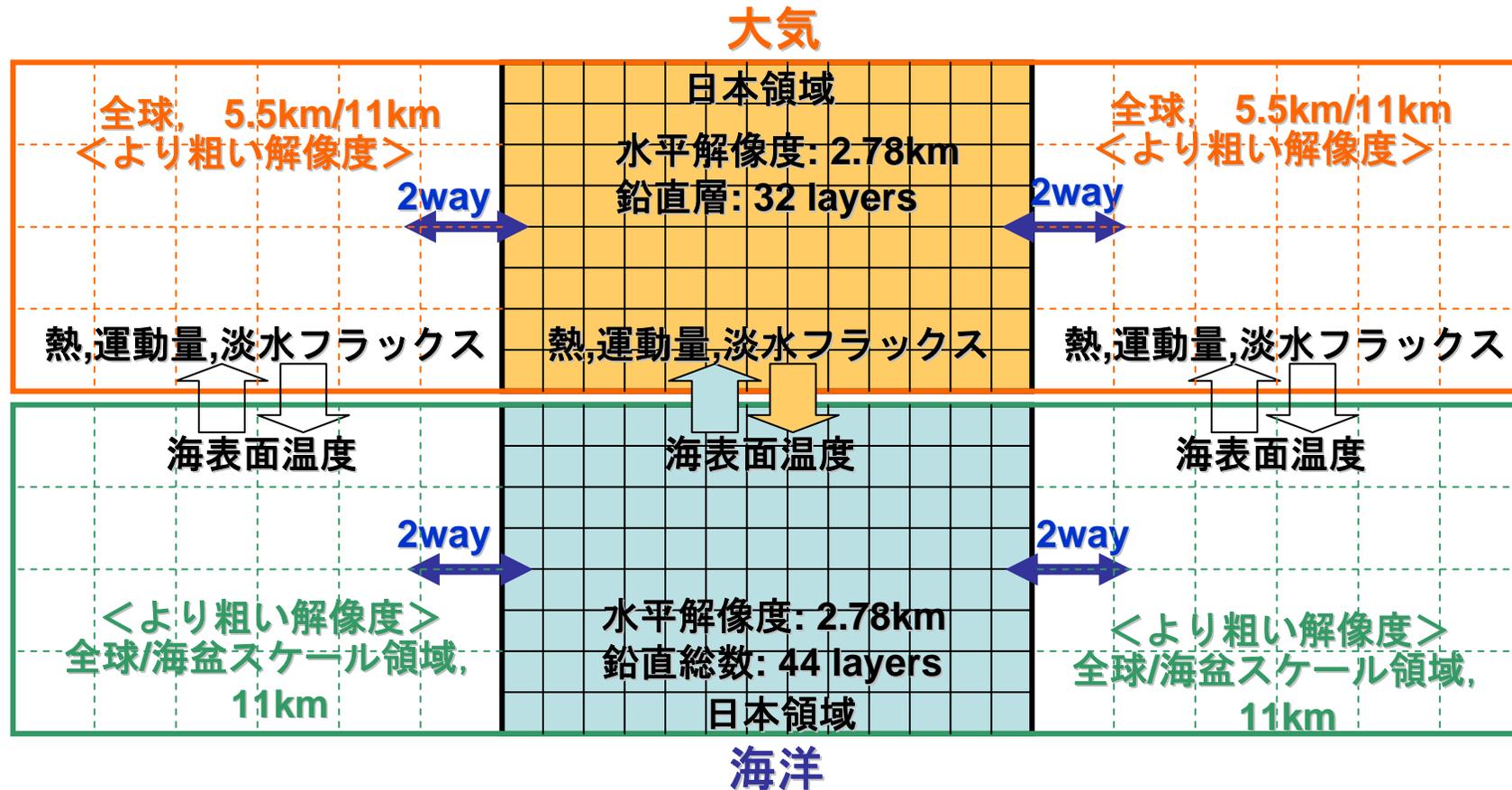


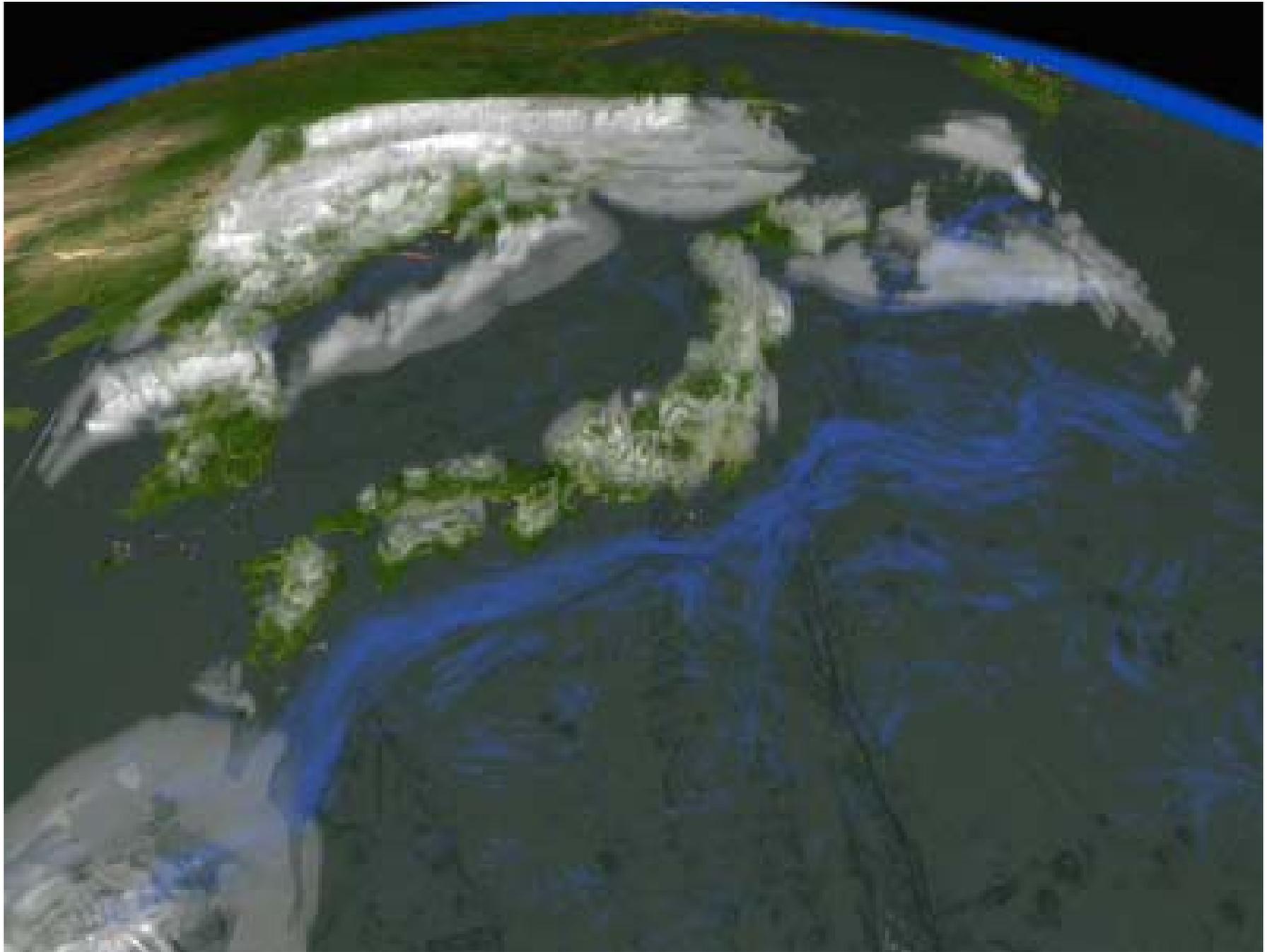
Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment: MSSG ;メッセージ



全球-領域・大気海洋結合モデル

Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment:
MSSG ;メッセージ

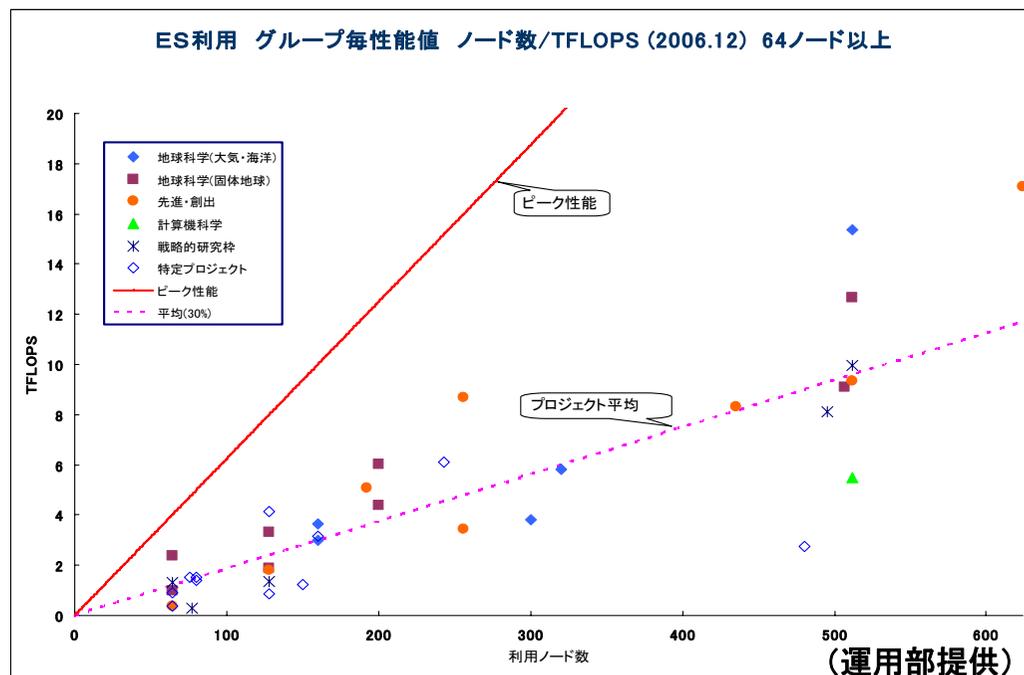




Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment (MSSG)

地球シミュレータ上での計算性能

ケース	ノード数	CPU数	格子点数	Mflops/CPU	ベクトル長	ベクトル化率	Tflops	ピーク性能比	加速率	並列化率
結合	512	4096	3662807040	4166.7	229	99.3%	17.07	52.1%	461.0	99.9973
	384	3072		4273.8	229	99.3%	13.13	53.4%	354.6	99.9968
	256	2048		4401.9	229	99.3%	9.02	55.0%	242.6	—
大気	512	4096	2713190400	4575.2	228	99.5%	18.74	57.2%	479.1	99.9983
	384	3072		4606.1	228	99.5%	14.15	57.6%	365.2	99.9969
	256	2048		4692.4	228	99.5%	9.61	58.7%	247.5	—
海洋	498	3984	4718592000	3629.3	240	99.3%	14.46	45.4%	401.3	99.994
	398	3184		3568.5	240	99.3%	11.36	44.6%	333.7	99.989
	207	1656		4234.3	240	99.3%	7.01	52.9%	188.2	—



地球シミュレータ上の約60倍の
問題規模までは、
サチルことなく、線形に
計算性能が向上可能

異なる時空間スケールが
これからのキーポイント・ターゲット
マルチスケール・マルチフィジックス シミュレーション

- 台風
強度：風の強さ, 雨の量
- 都市型豪雨
メガシティの影響

- 台風の進路予測は、ここ10年間で
飛躍的な進歩を遂げている。
- しかし、強度に関しては、どうか？
- 課題：
 - 解像度
 - 大気海洋境界層、接地境界層のモデル
⇒ 乱流モデル、雲モデル、放射モデルの高度化
 - 大気海洋相互作用



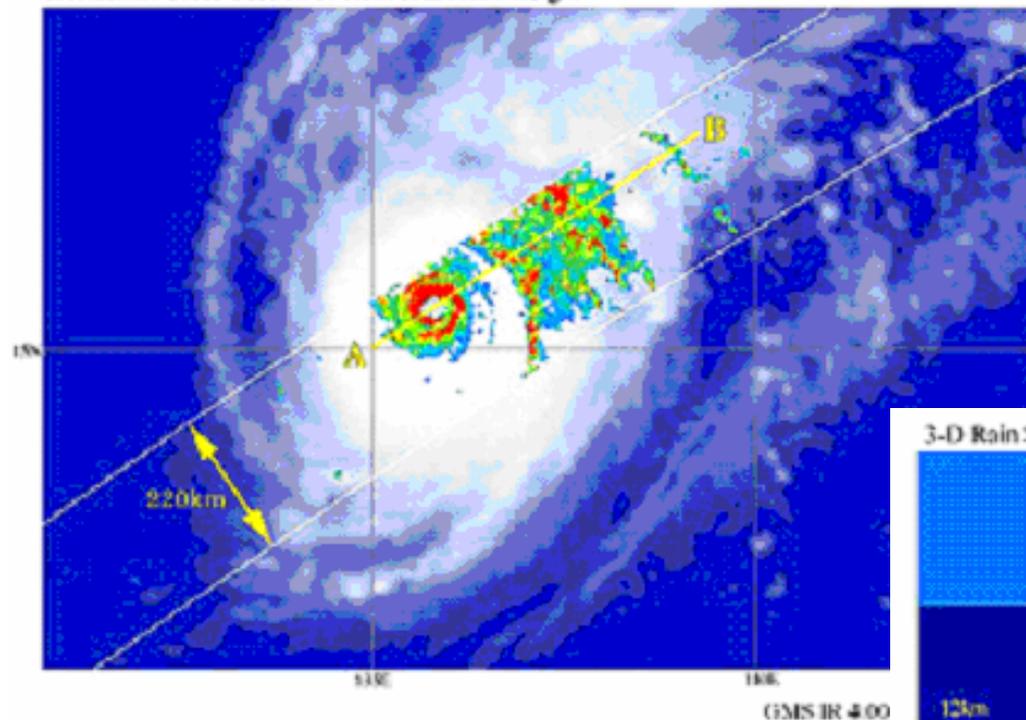
NASA

TRMM PR 2A25 Rain

19 Dec. 1997 4:16-4:20 (UTC)

Horizontal Cross Section of Rain at 2,000km Height

JAXA



3-D Rain Structure

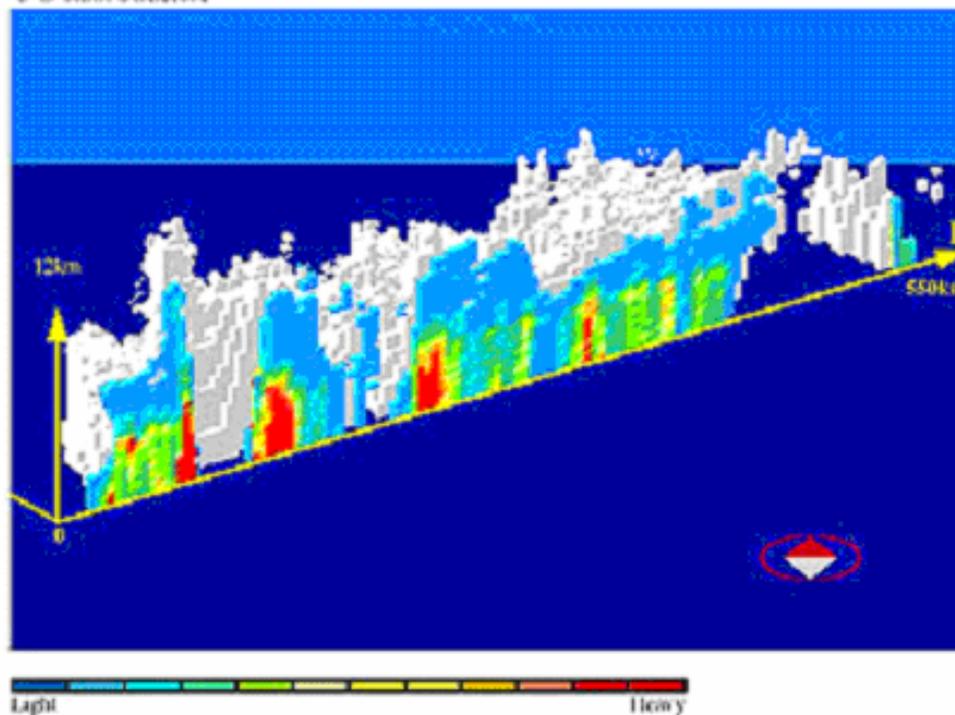
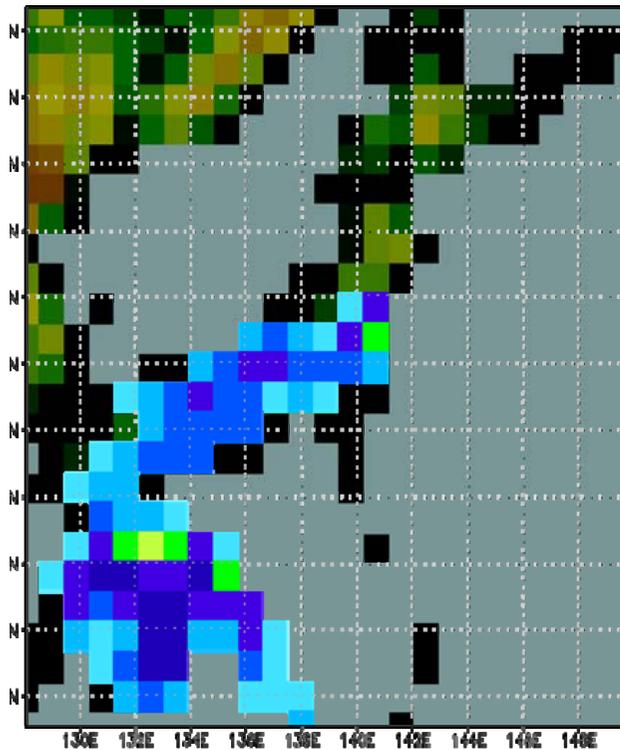


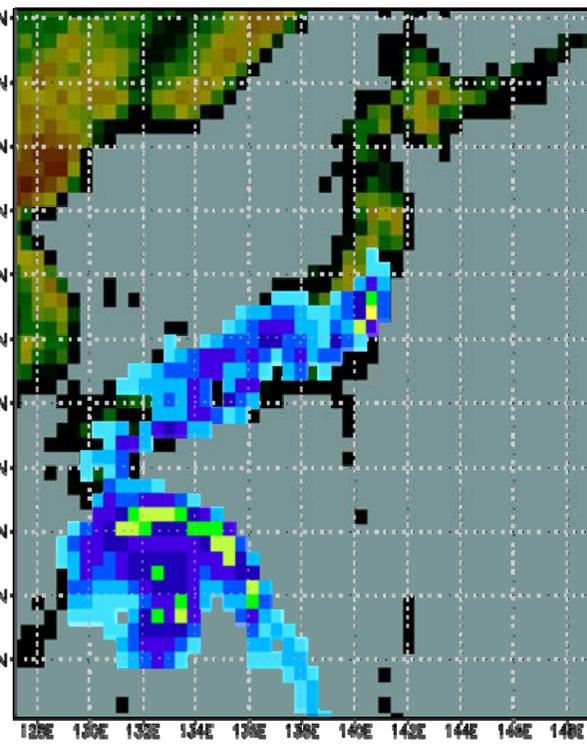
図2 1997年12月27日4時18分ごろのPRで観測した台風28号の、降雨強度の
高度2kmにおける水平断面とGMSの雲画像の合成図(上)、および線ABに沿って
切った鉛直断面と立体図(下)。

解像度と降雨の様子

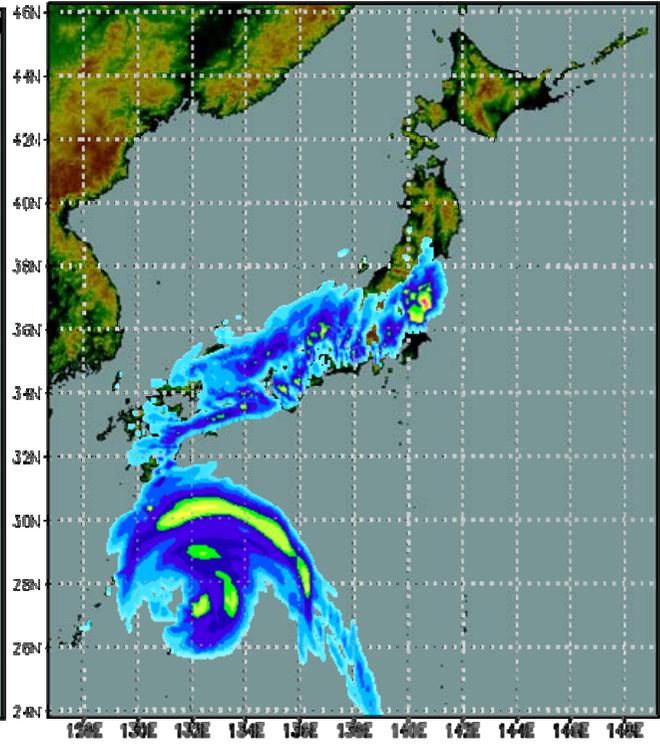
Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment: MSSG



100km格子



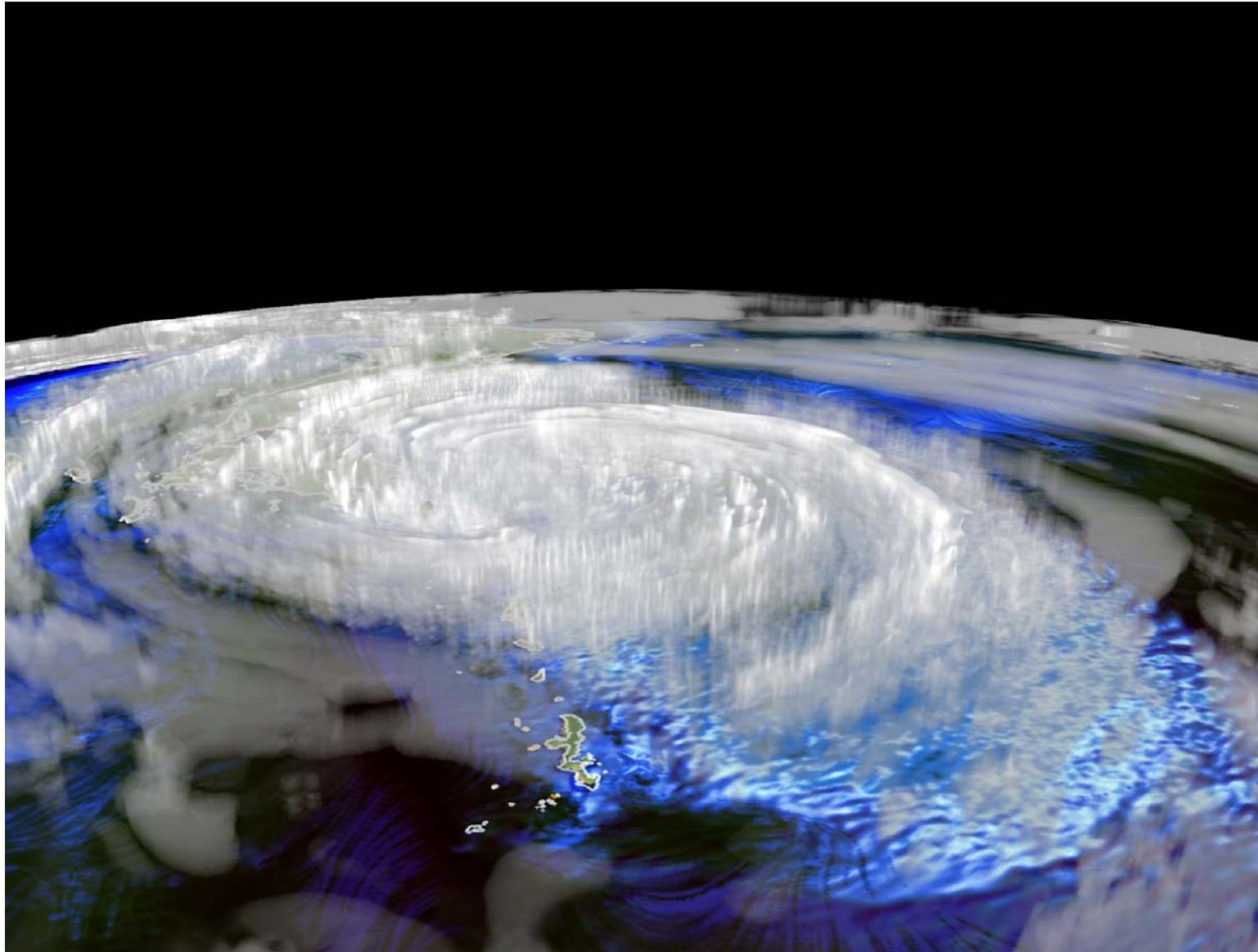
50km格子



5km格子

- 数100km規模の解像度では、強度を議論できない。
- 数1000km規模の台風全体を高解像度にするには、地球シミュレータ上では、500mが限界。

MSSGによるシミュレーション結果 (2003年10号)



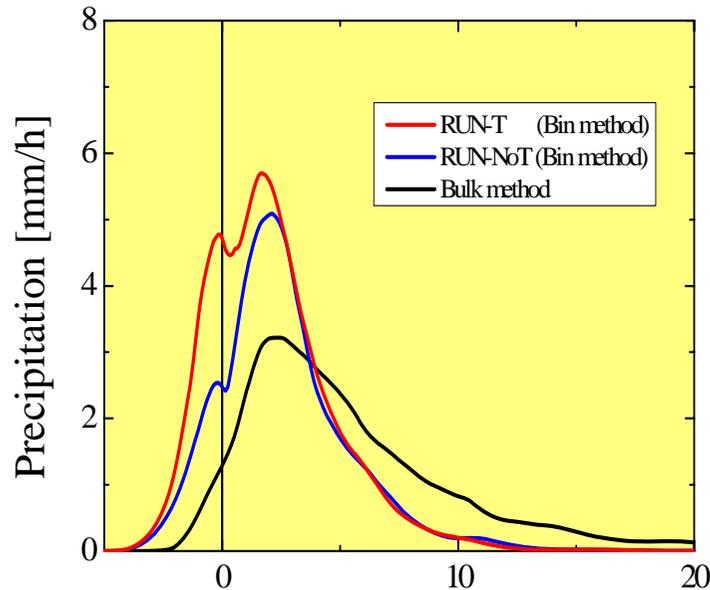
水平解像度:2.78km、鉛直層:32層(30kmを不等間隔)

乱流中での雲粒成長

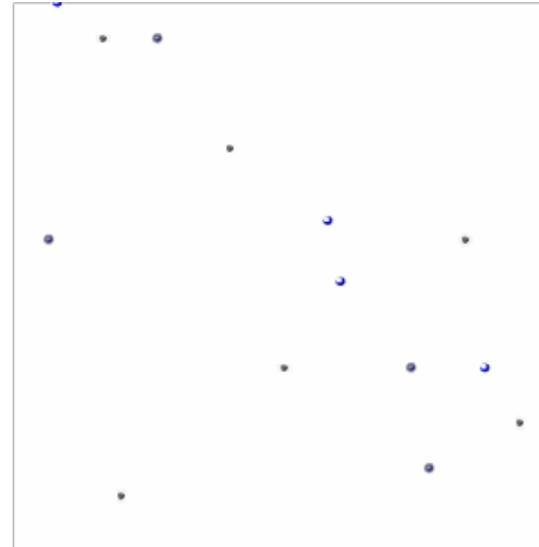
(大西領、地球シミュレータセンター)



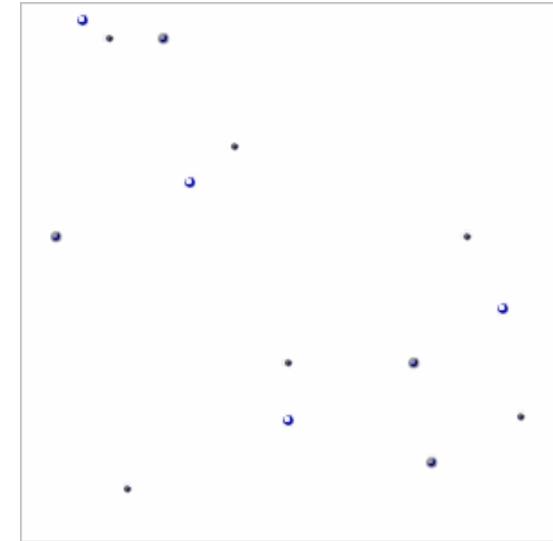
対流雲では上昇気流によって乱流が発生



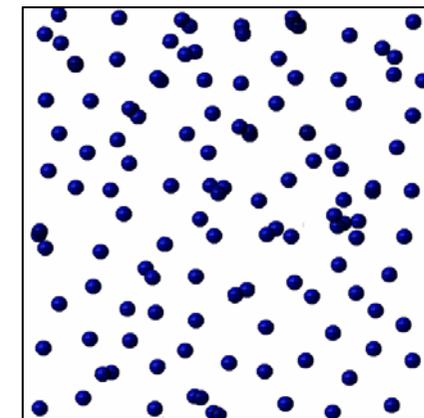
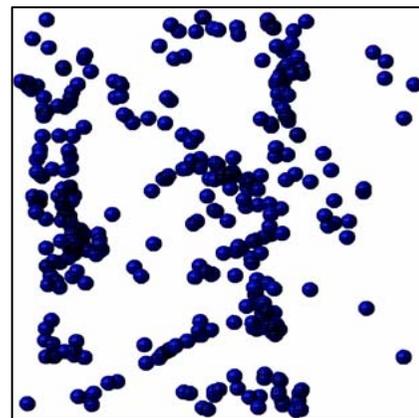
雨の降り方の違い



乱流を考慮した場合



乱流を考慮しない場合



粒子分布の例(DNSの結果)

雨の降り方は、潜熱として、台風のエネルギー源となる。
⇒ 乱流による雲の生成・雨の降り方が、台風の強度に直接関与するはず。

**Extended experiments in
a long wind-wave tank**

In Katsura New Campus



Fetch: 14~17m



$U_{\infty} = 3\text{m/s}$

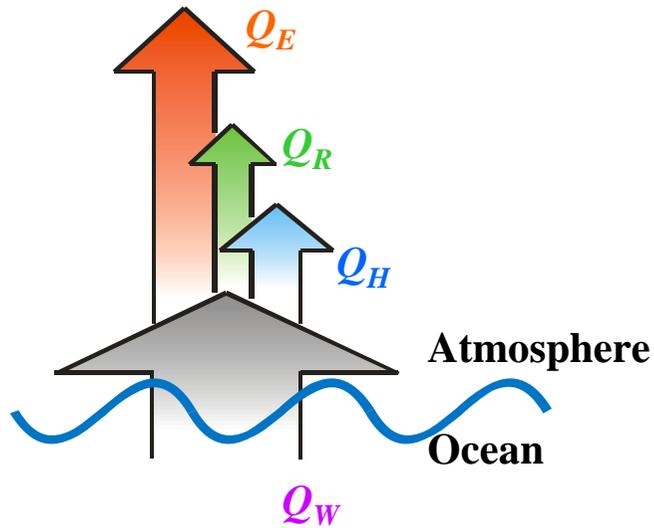


$U_{\infty} = 9\text{m/s}$



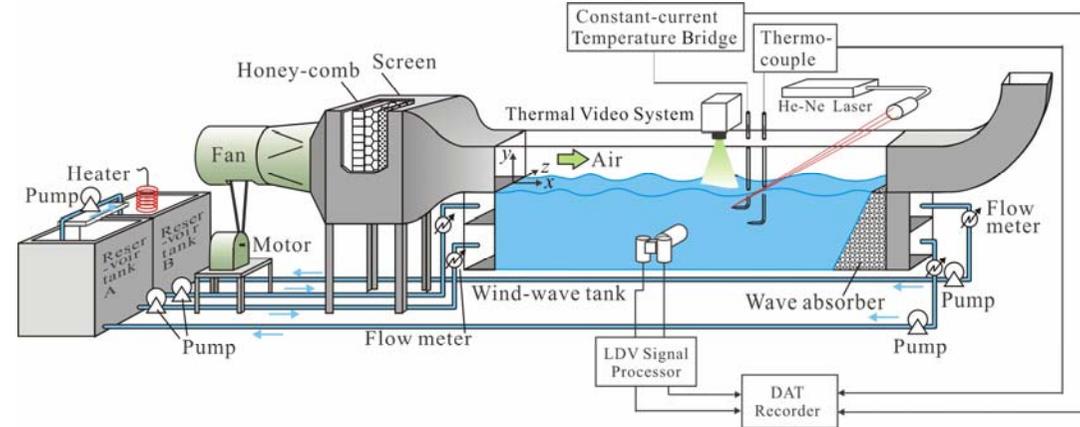
$U_{\infty} = 20\text{m/s}$

大気・海洋間の熱交換

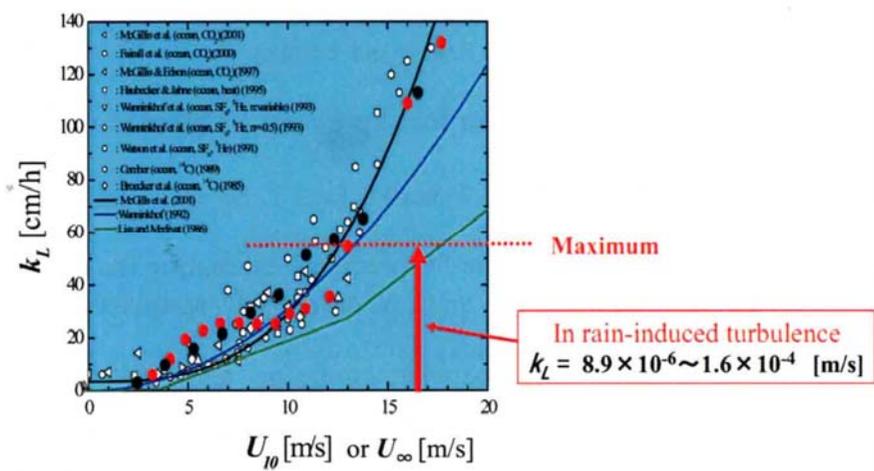


$$\underbrace{Q_E}_{\text{latent heat flux}} + \underbrace{Q_R}_{\text{radiative heat flux}} + \underbrace{Q_H}_{\text{sensible heat flux}} = \underbrace{Q_W}_{\text{total heat flux}}$$

風波水槽を用いた伝熱実験



Comparison of mass transfer coefficient in rain-induced turbulence with that in wind-driven turbulence

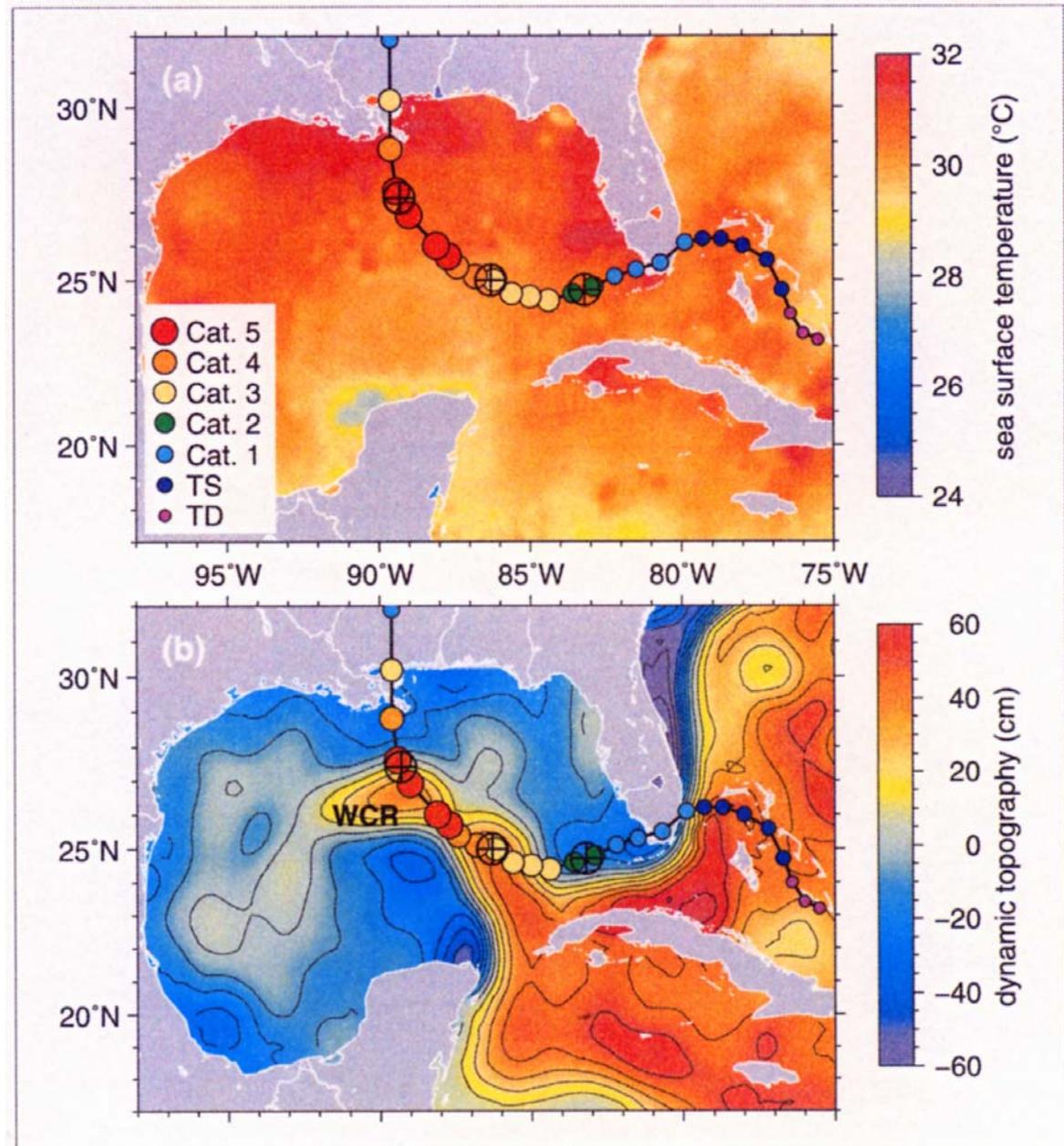


The mass transfer coefficient in rain-induced turbulence corresponds to that in wind-driven turbulence with wind speeds of 3~13m/s.

表層だけでなく、もっと深い海も関与

台風カトリーナ(2005)の
進路と海洋のようす

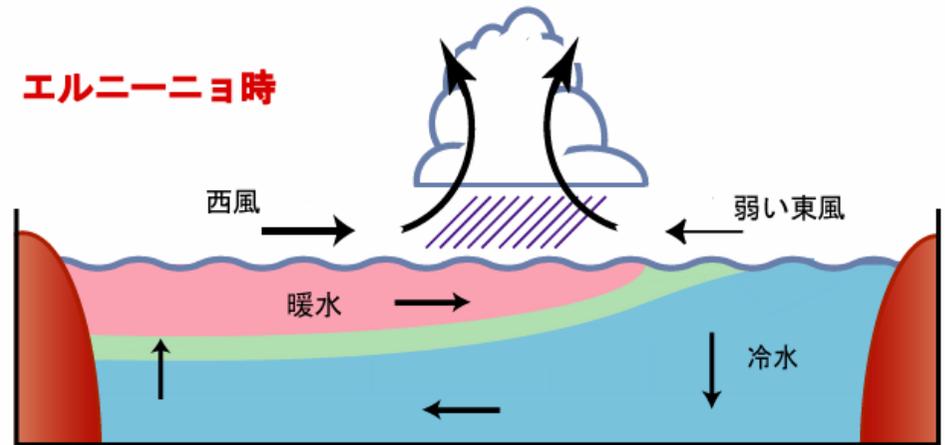
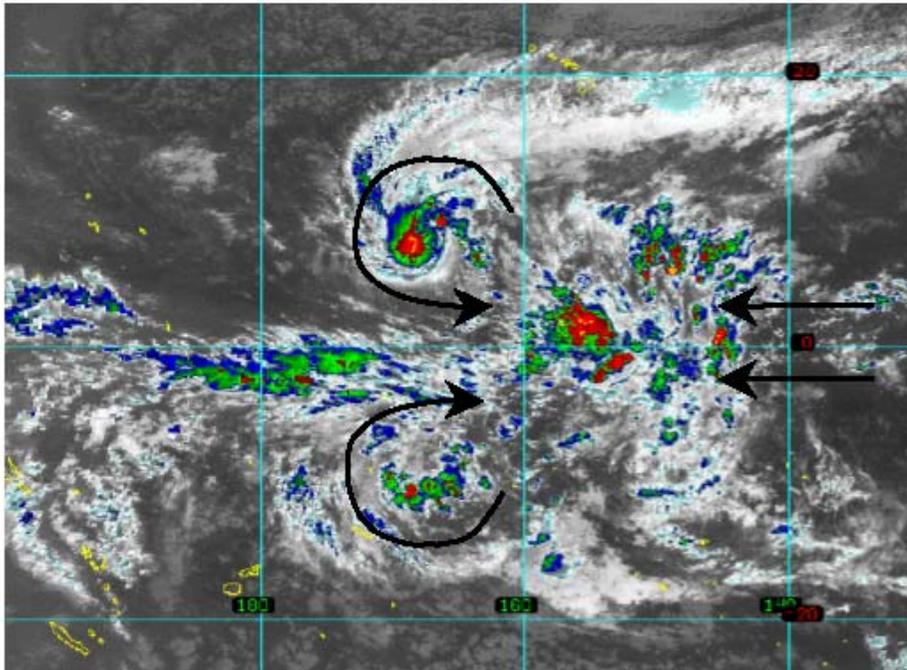
進路と海面水温



進路と海面の高さ

R. Scharro, A. Cornish et al,
Eos, vol.86, no.40, 2005

実は、もっと長期の変動へも関与



北西太平洋における熱帯低気圧が
西風バーストを励起する原因のひとつに...

気候変動が台風に影響を与える！
vs.
台風が気候変動の“たね”になる!?

要請：“数10～数100m水平解像度での低気圧＋長期積分(数10年)＋大気海洋結合”

“都市型”集中豪雨なのか？

温暖化とヒートアイランド

ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査報告書(概要)

—環境省環境管理局大気生活環境室—

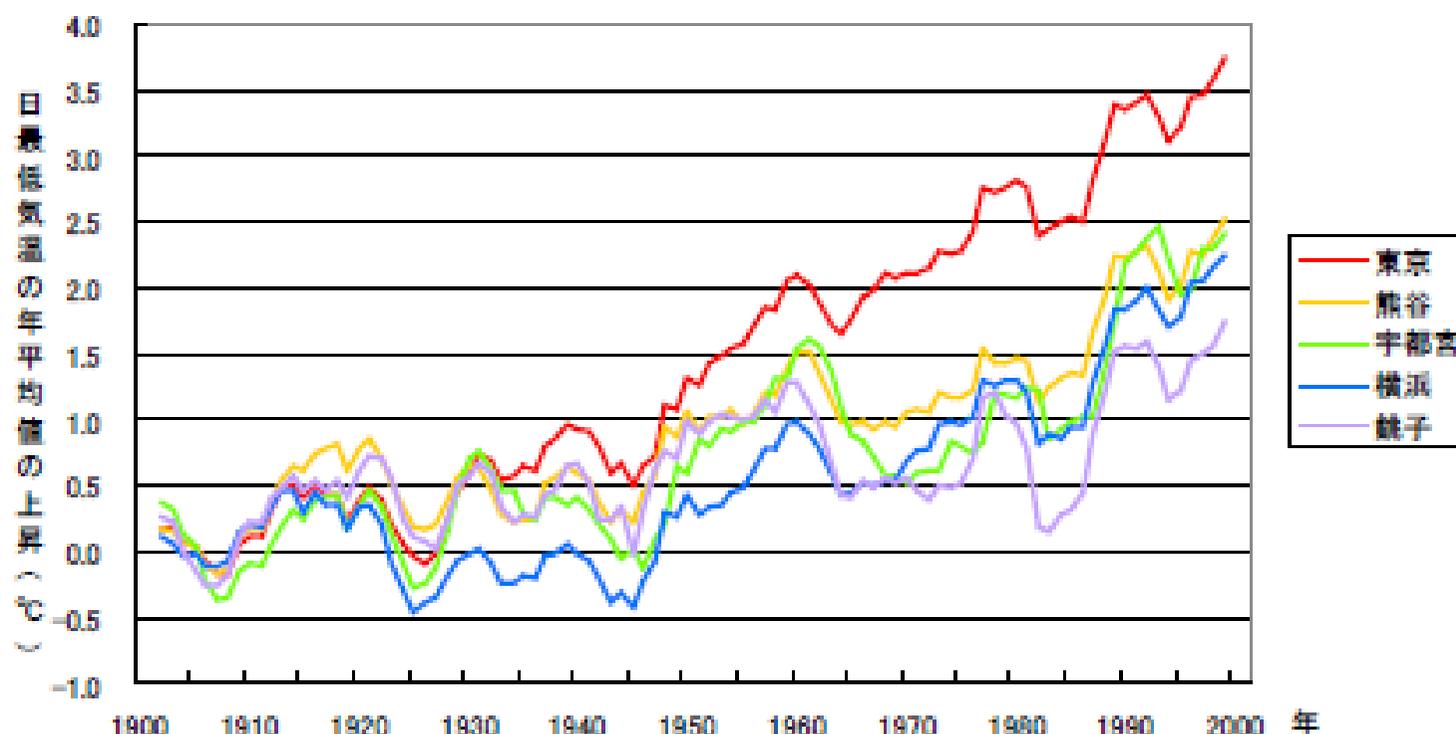
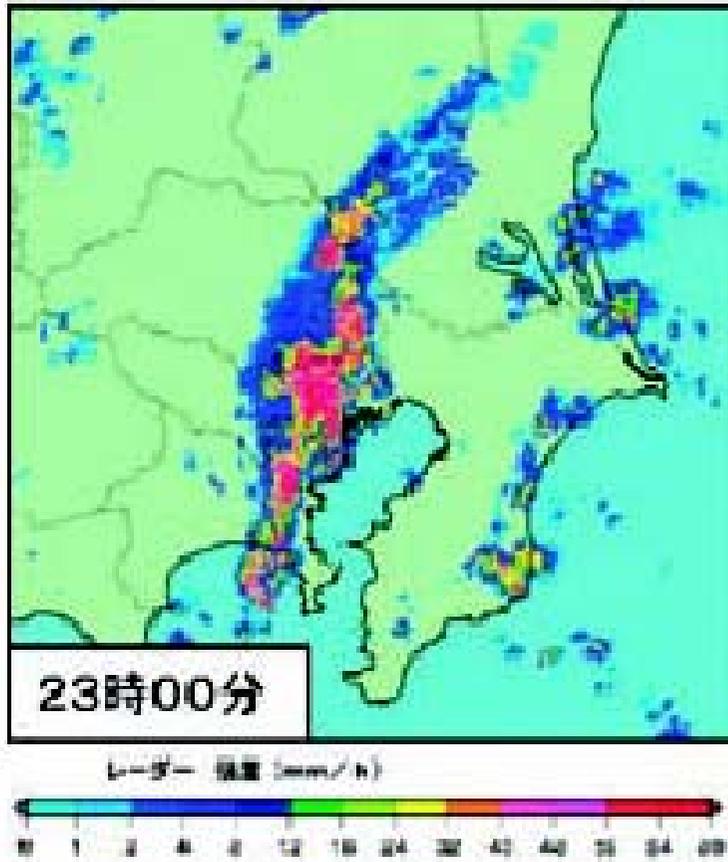


図2 東京と周辺部の日最低気温の年平均値の変化(5年移動平均)

出典)気象庁年報2001より作成

注)1900年から1909年の10年間の平均値を基準として基準値からの上昇分を示した。

都市型集中豪雨か？



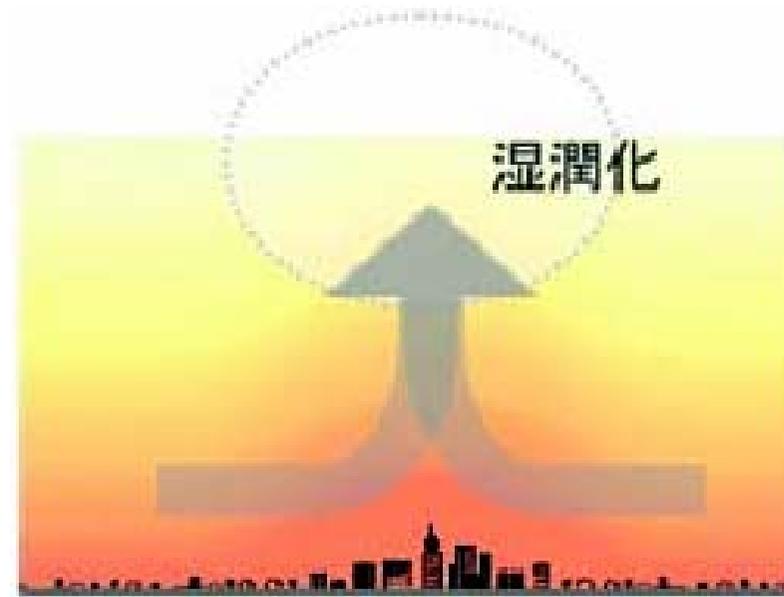
2005年9月4日における
東京集中豪雨域のレーダー画像

東芝エレベータ(株) FortuneDesign(07/2006)より



都市は加熱が強く、対流が活発

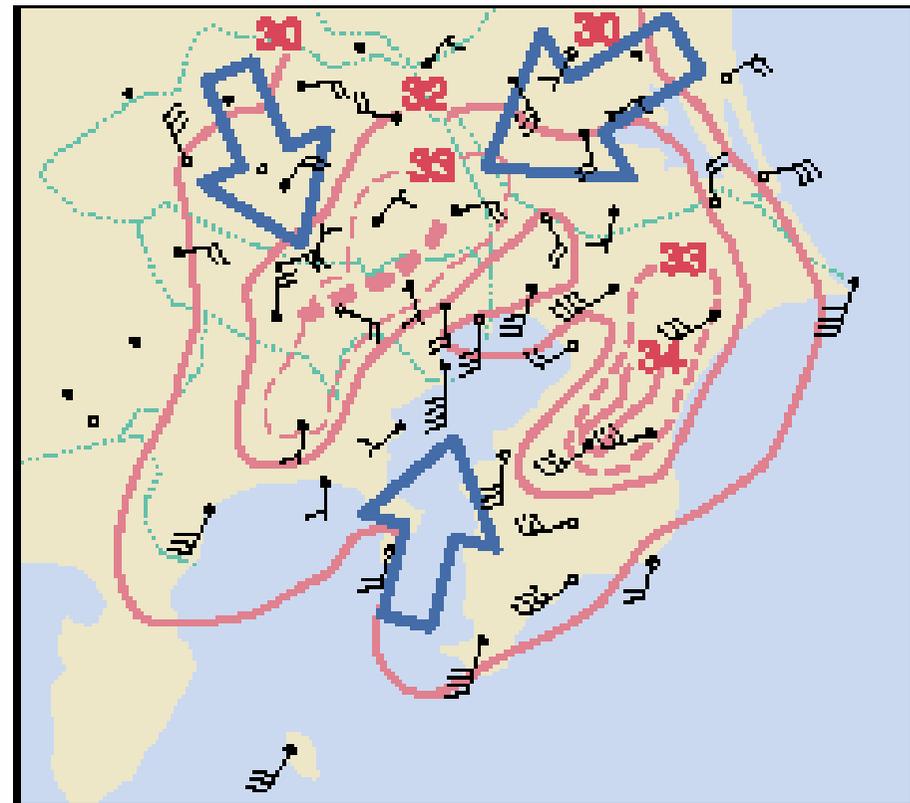
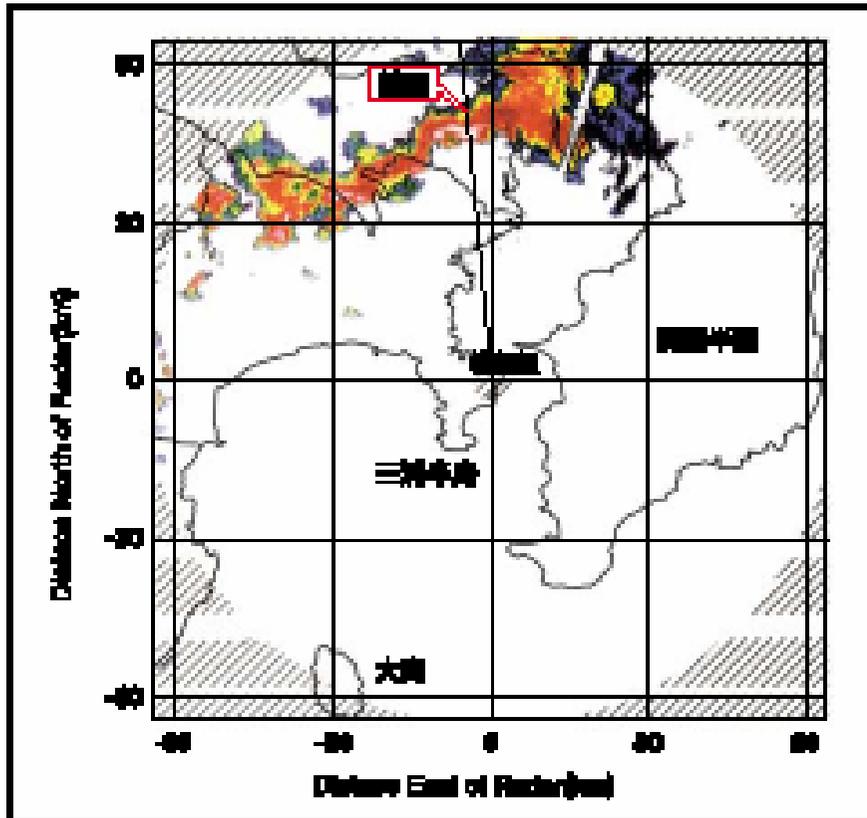
積雲の発生



上昇流による水蒸気の汲み上げ

都市上空の湿潤化

練馬豪雨

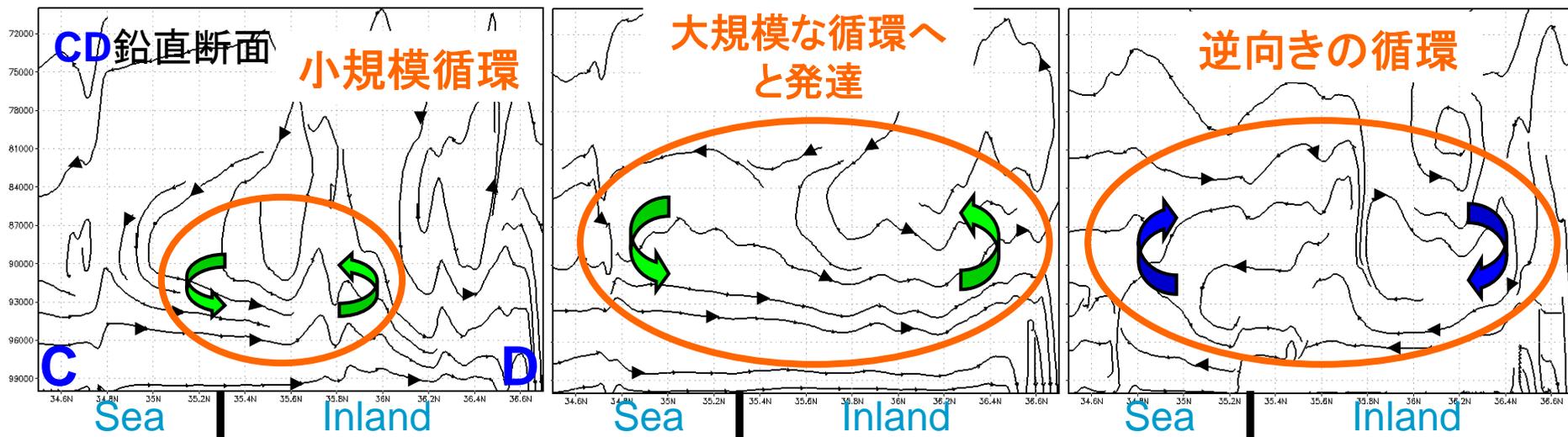
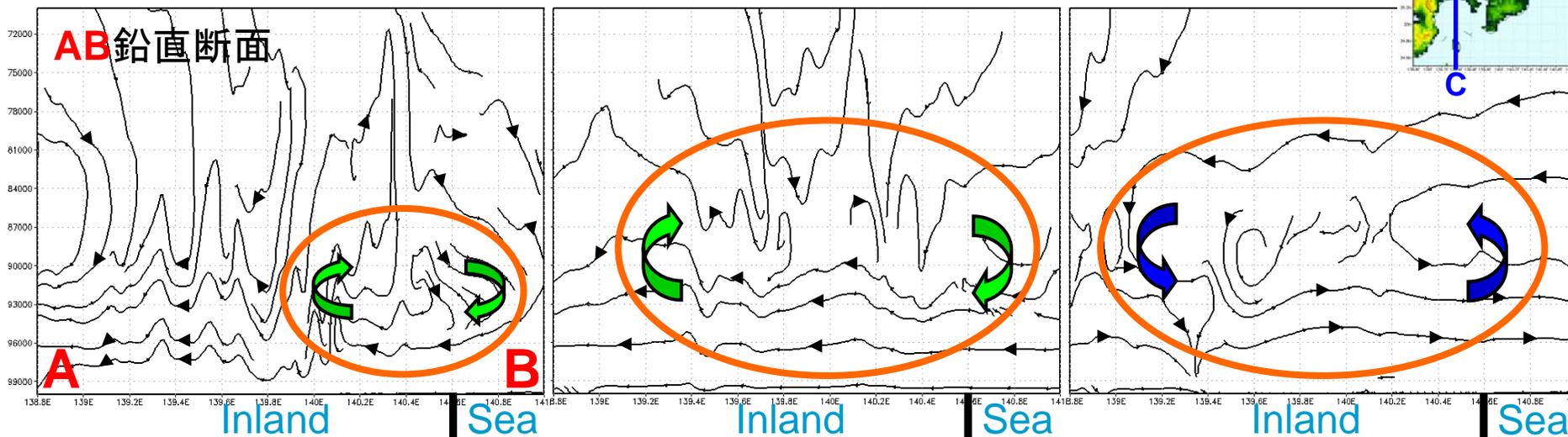
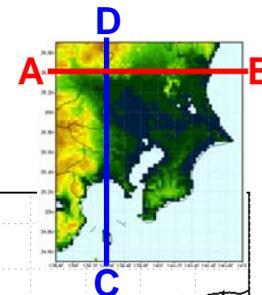


平成11年7月14日11時のアメダスデータ

(国土交通省河川局資料)

鉛直循環の変化

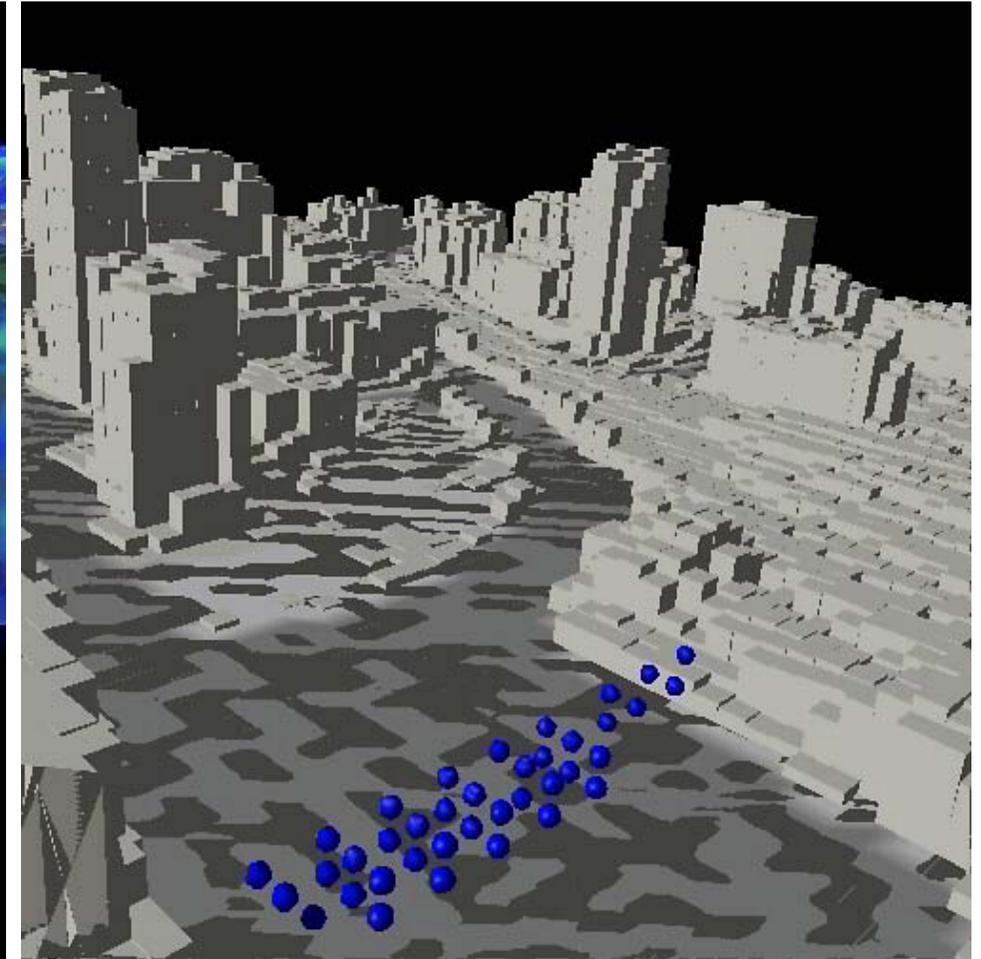
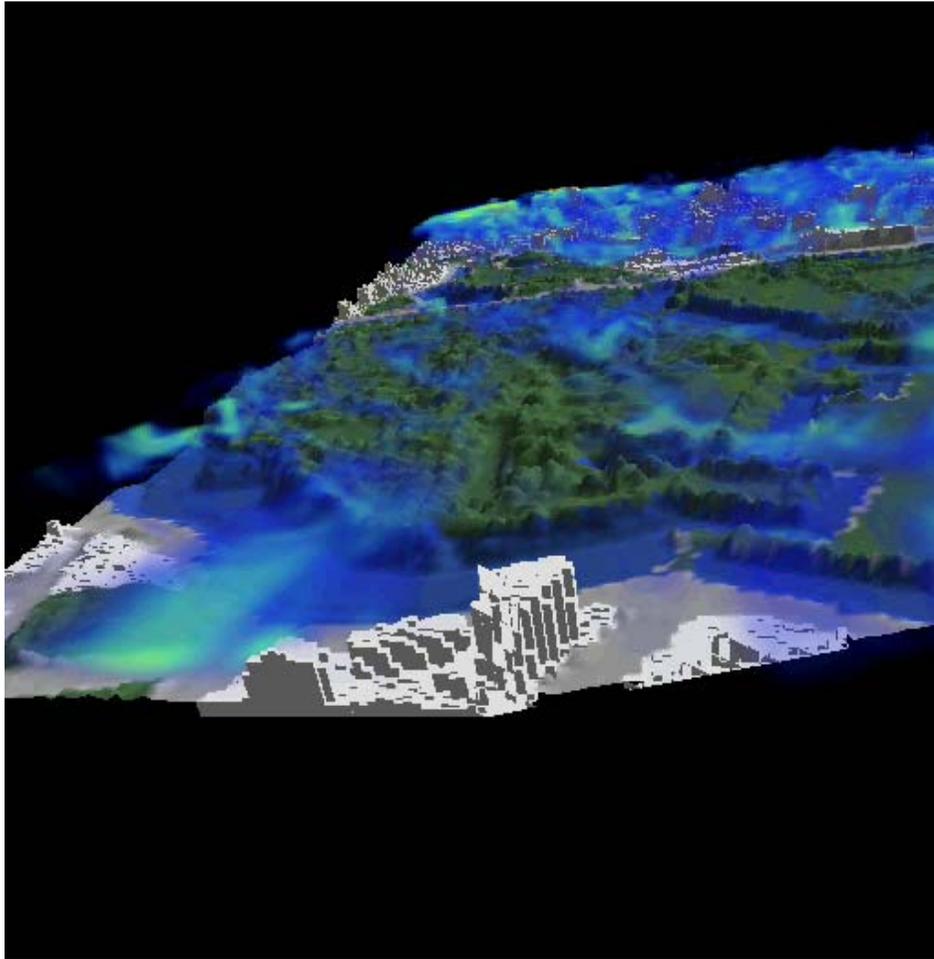
地球シミュレータセンターモデルの結果 -5-



15:00JST

18:00JST

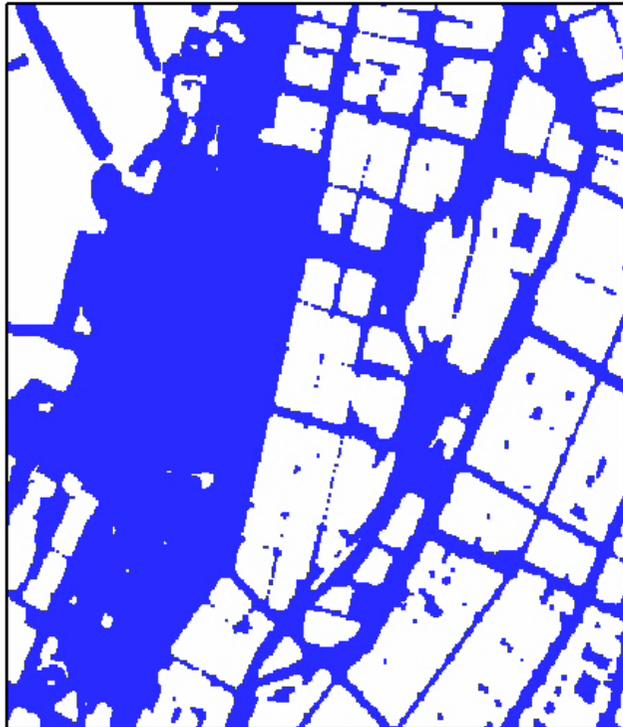
03:00JST



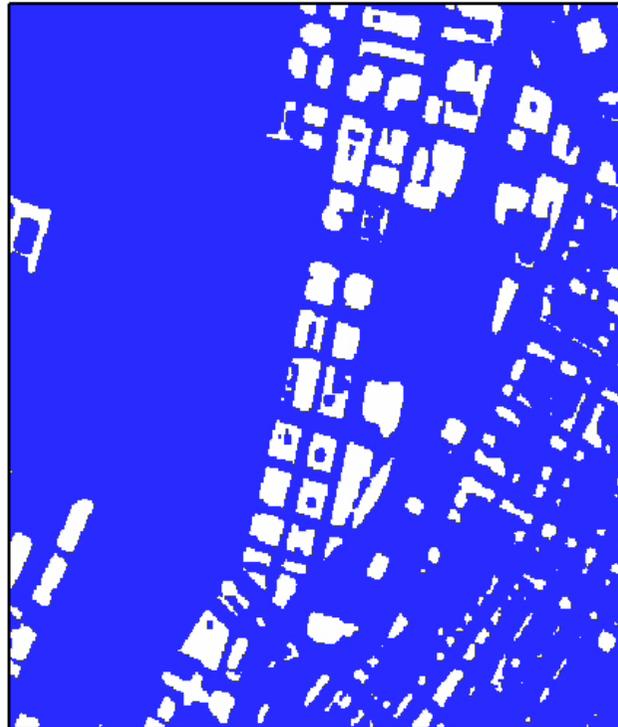
MSSG シミュレーション結果

MSSGシミュレーション結果 —気温分布の時系列変化—

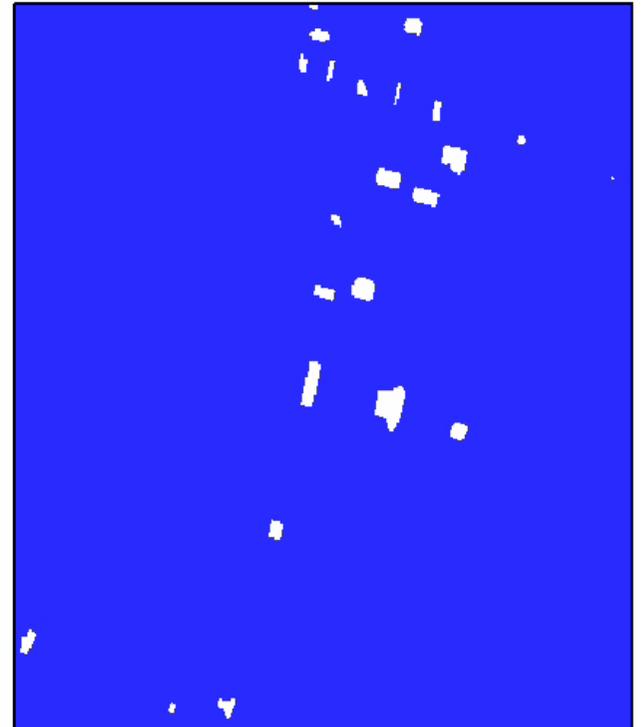
2005年8月5日15:00より



海拔7.5m



海拔32.5m



海拔102.5m

鉛直分布



異なる時空間スケールが
これからのキーポイント・ターゲット
マルチスケール・マルチフィジックス シミュレーション

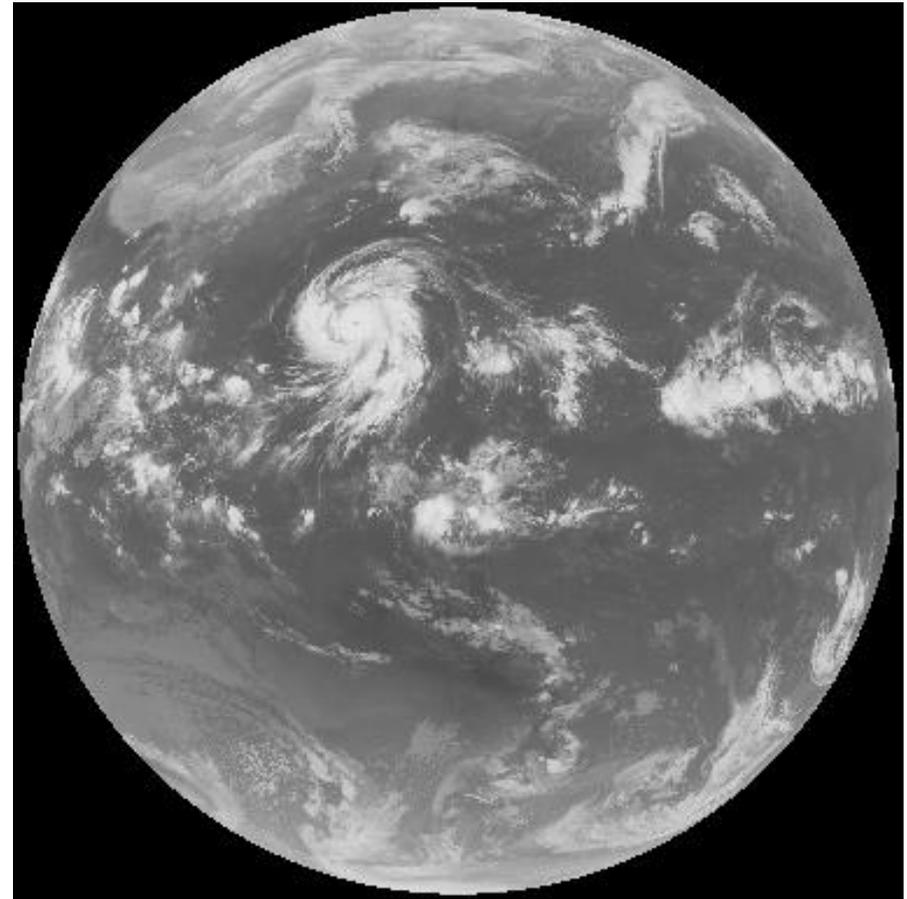
- ・ 台風
強度: 風の強さ, 雨の量
- ・ 都市型豪雨
メガシティの影響

必要最小限のツールはそろってきた！

さらに、



可視画像

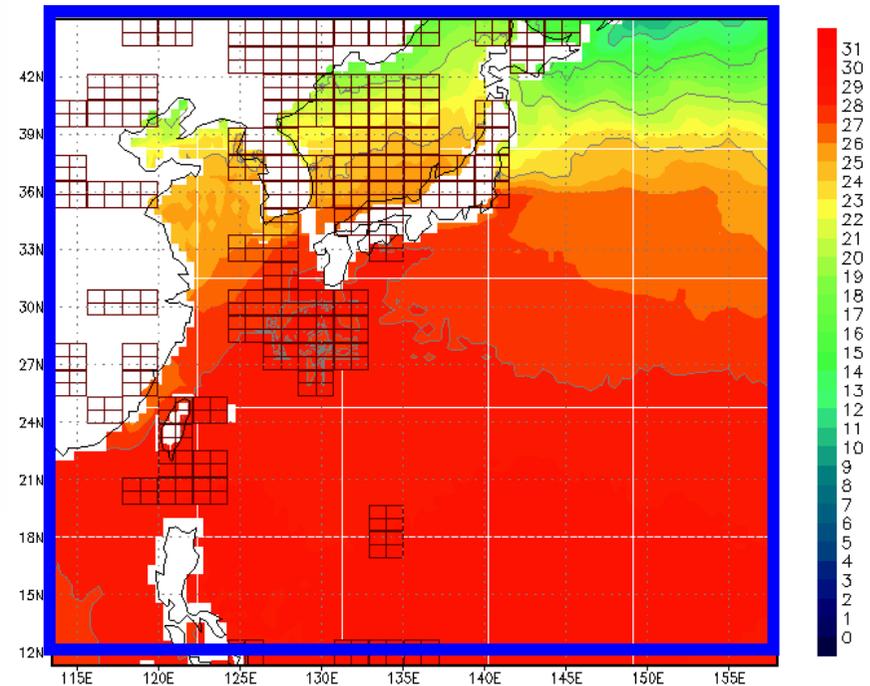
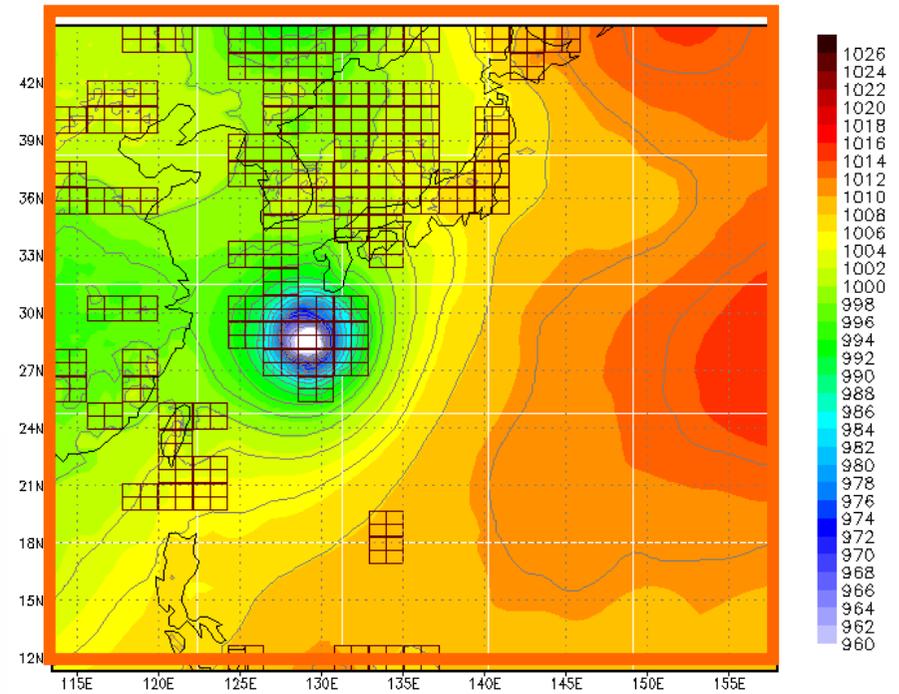
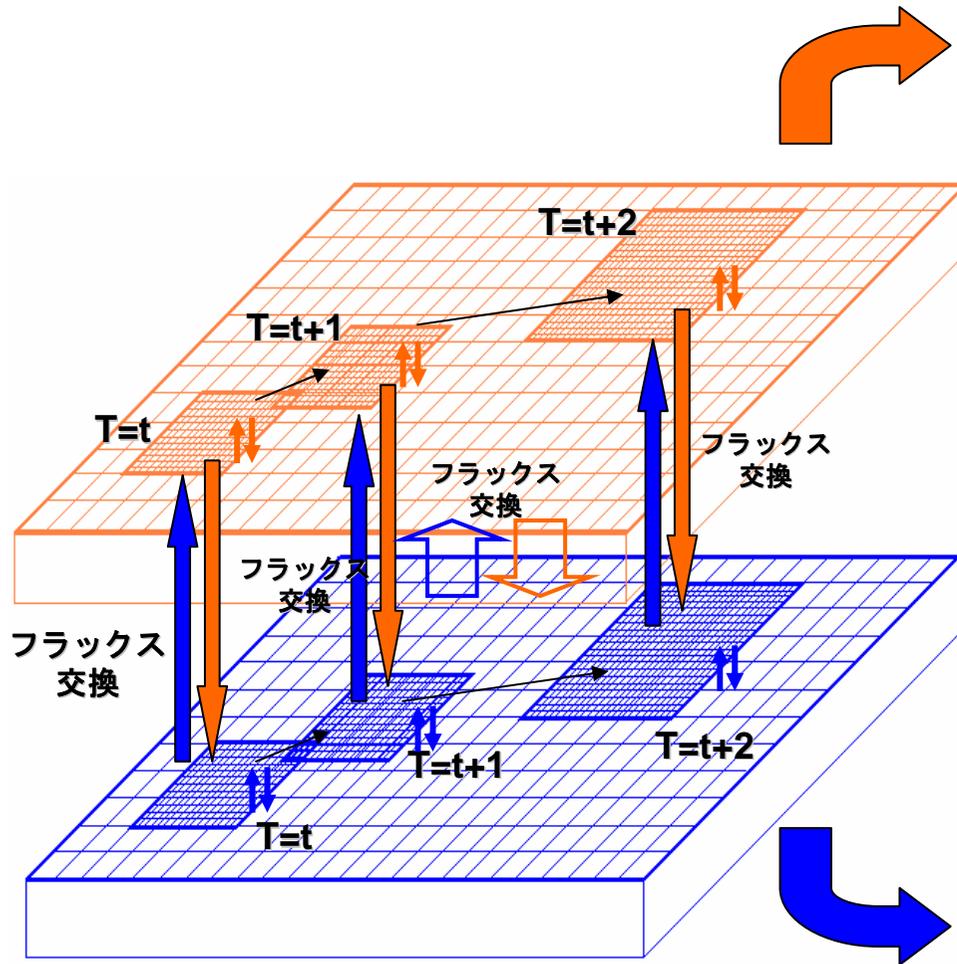


赤外画像

気象衛星「ひまわり」の画像(1998年10月12日8時JST)

<http://agora.ex.nii.ac.jp/~kitamoto/research/rs/multi-spectrum.html> より

大気, 海洋それぞれへ実装 ダイナミック動的適応型格子 (Adaptive Mesh Refinement: AMR)



- 地球シミュレータでは、
当初の目標:1000倍規模のシミュレーション を可能に。

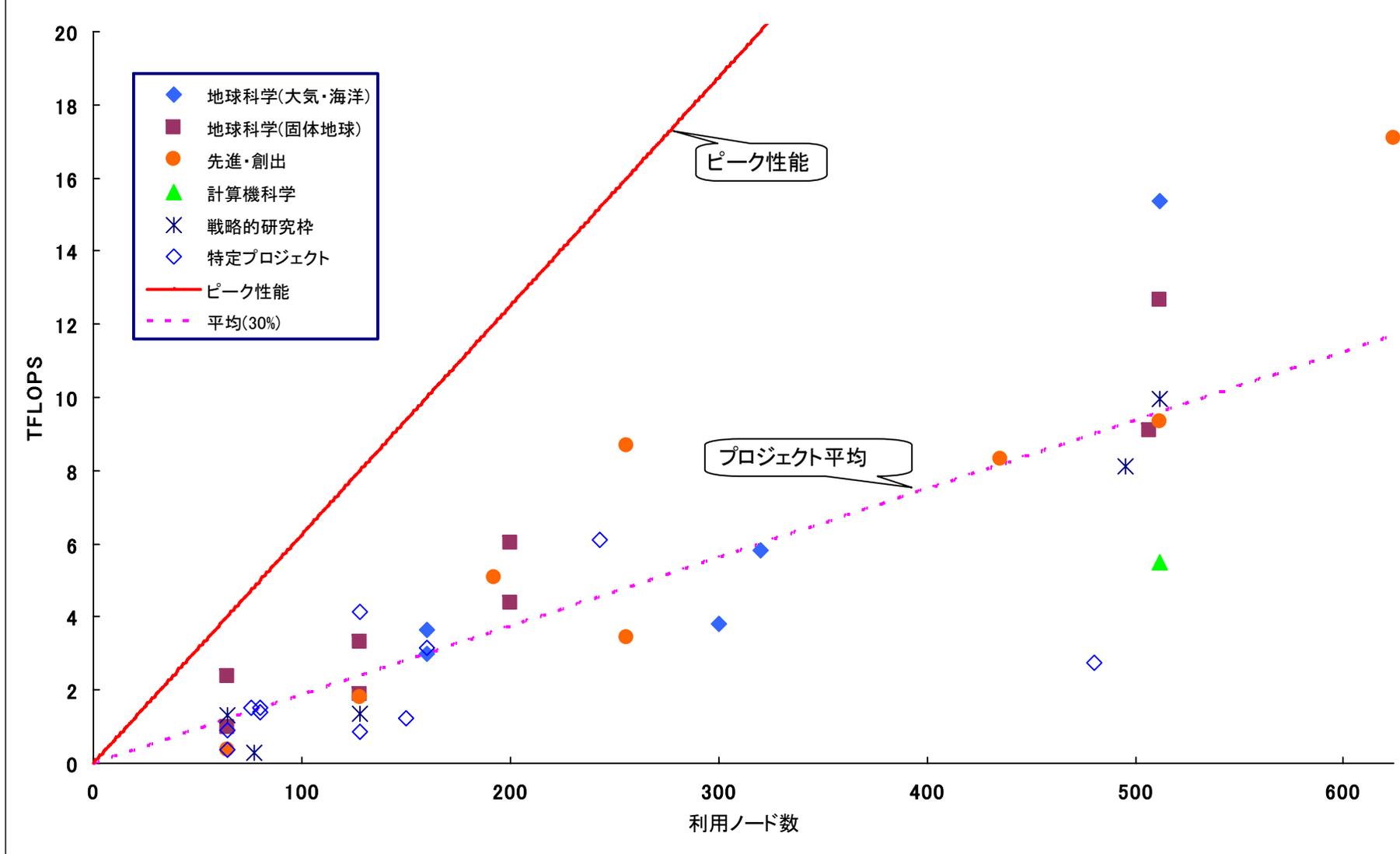
⇒ さらに、100倍(5×5×5)の規模が可能に。
現実のマシンとしての存在が大きい。
- 次世代スーパーコンピューターでは、
さらなる飛躍が期待できる。
- 観測との新しい連携関係を結べる可能性も。

いよいよおもしろくなってきた
気象、気候変動予測シミュレーション

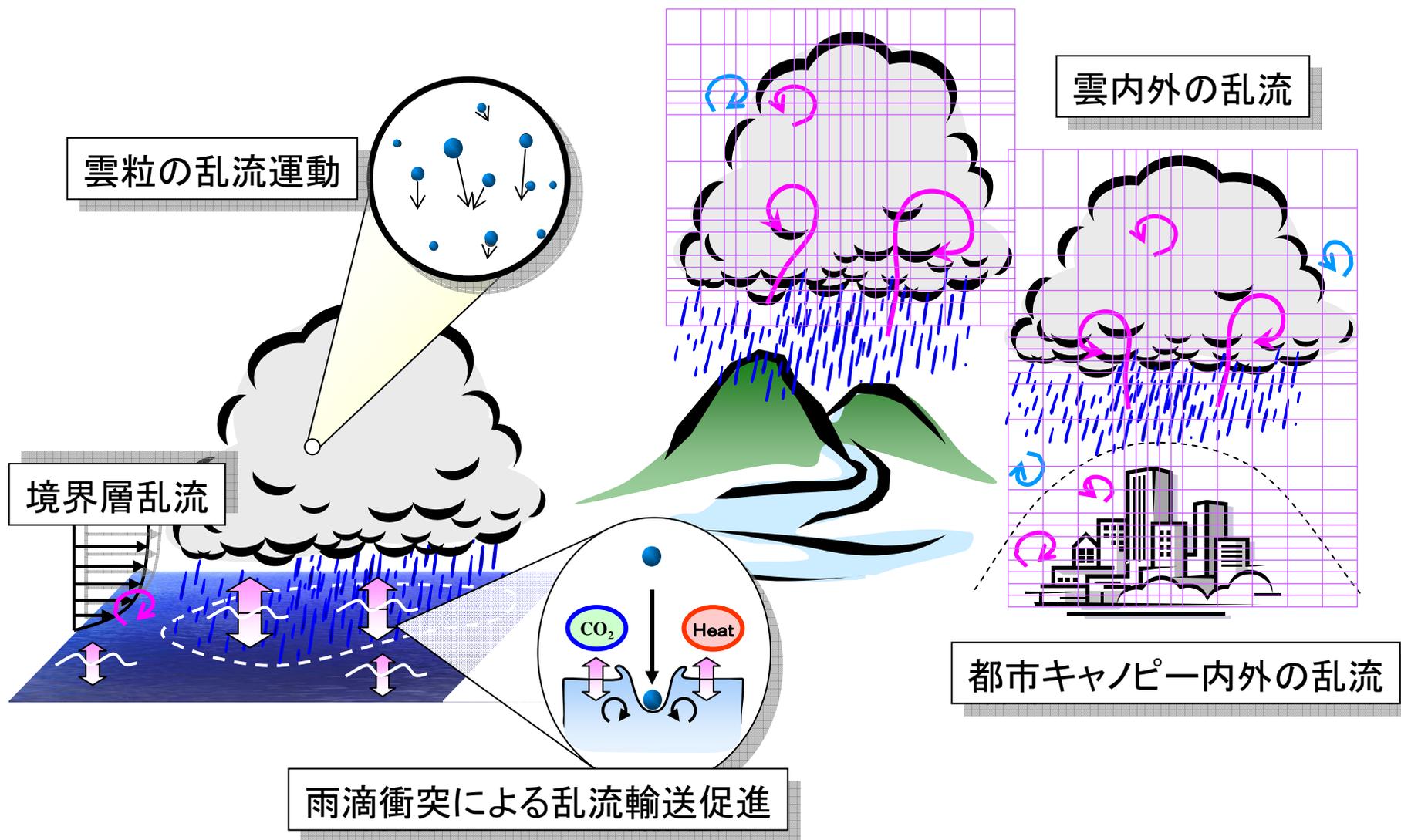
ありがとうございました。

(参考)

ES利用 グループ毎性能値 ノード数/TFLOPS (2006.12) 64ノード以上



混相乱流解像・大気海洋結合モデル構想





口絵写真6

嵐の中の海, 1955年2月20日16時, 関東東方洋上 36° N, 147° Eの地点, 南寄りの 25.5m/s の風による山のような暴浪は切れ切れになって峰は孤立し, 波頭で碎けた波は風に吹き散らされて, 海面は白波に覆われている. 元気象庁海洋課・長谷川四郎氏の提供による.

今後の展開

- 小さなスケール VS 大きなスケール
 - 空間スケール
 - 時間スケール
- なにを、どのスケールで、どんなタイミングで
インターラクショナルするか？
- 流れと相変化過程との“融合”
- 定常(平衡)状態解析から非定常(過渡)状態解析へ
理想的な境界条件から複雑境界条件へ
- さらに高精度の計算手法の導入, さらなる高速化
- 観測や実験室との連動、他機関との連携の強化