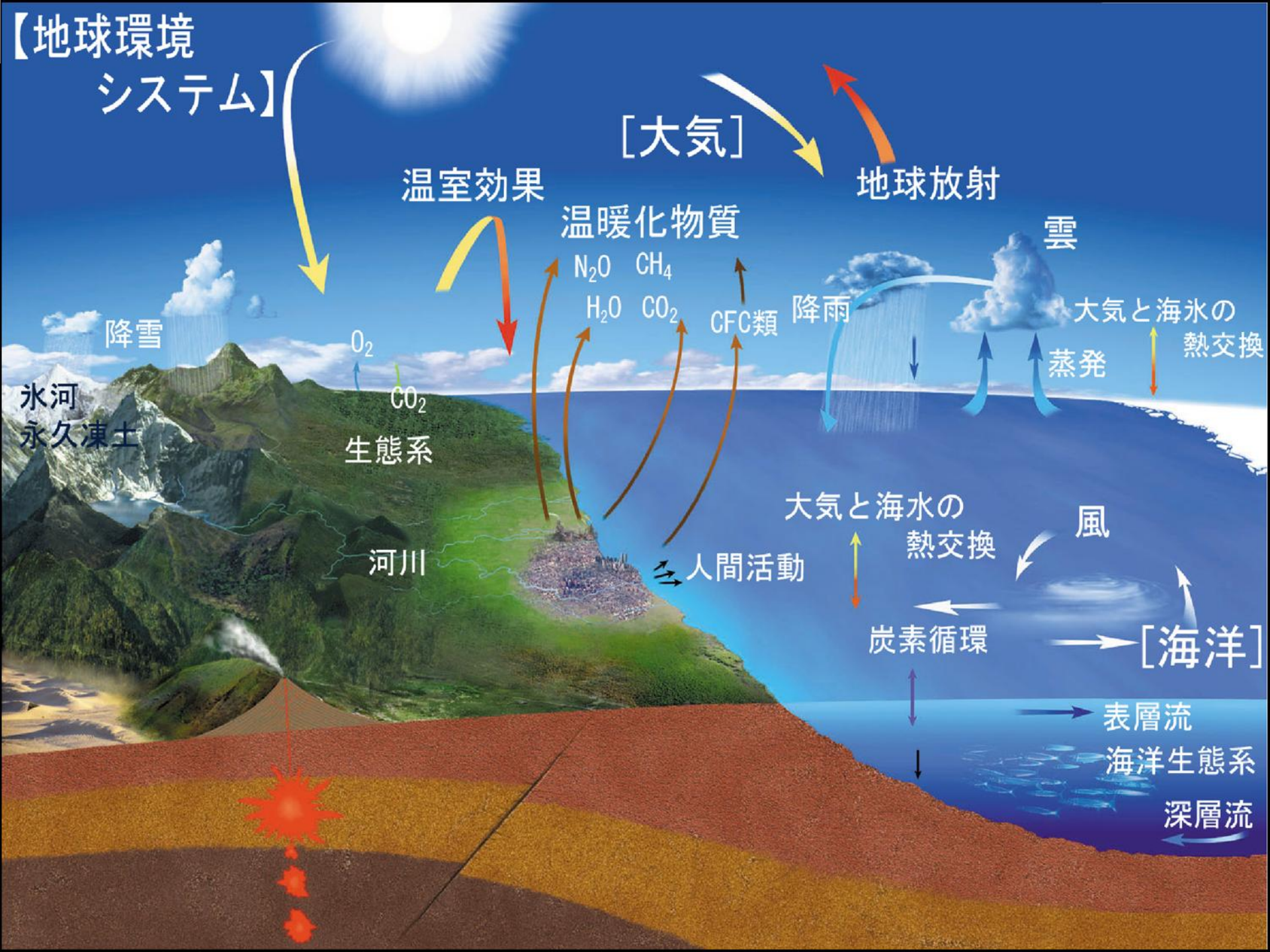
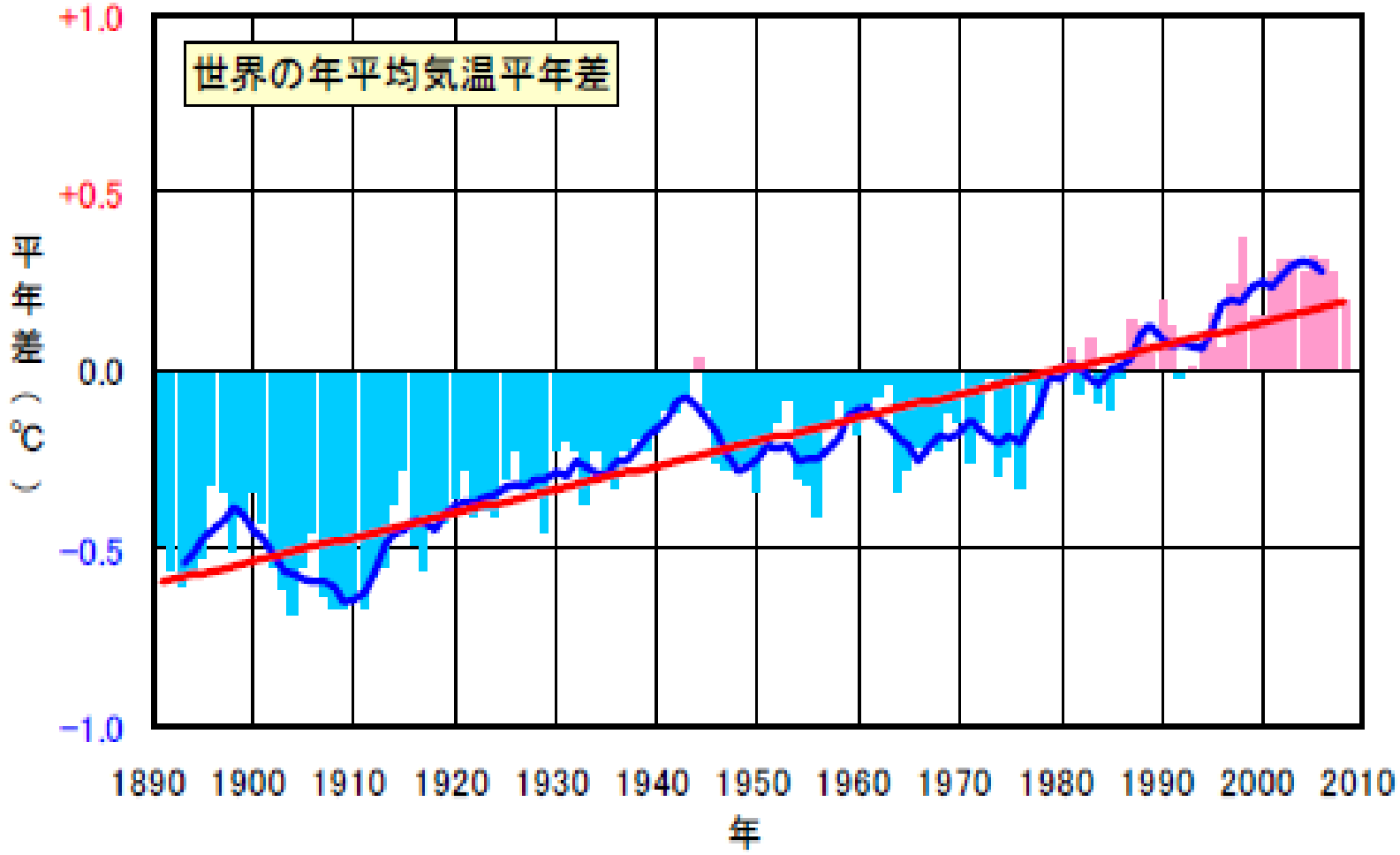
気象・気候変動現象の予測と
ハイパフォーマンスコンピューティング

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】
[大気]
温室効果
地球放射
温暖化物質
N_2O CH_4
H_2O CO_2
CFC類
雲
降雨
降雪
O_2
CO_2
大気と海氷の
熱交換
蒸発
氷河
永久凍土
生態系
河川
人間活動
大気と海水の
熱交換
風
炭素循環
[海洋]
表層流
海洋生態系
深層流



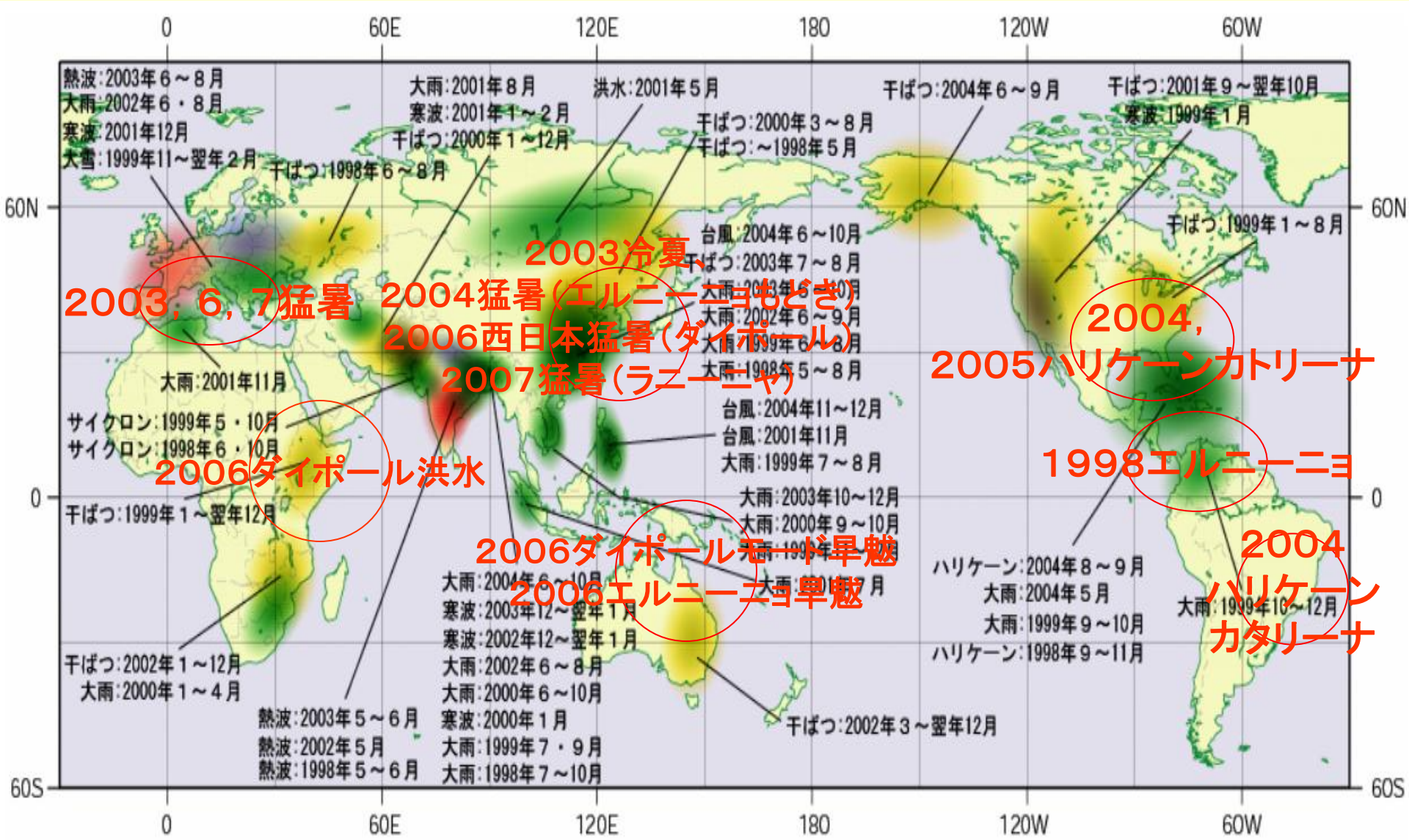
世界の年平均気温の変化（1891～2008 年）

観測機器によって得られた資料にもとづく、1891 年以後の世界全体の年平均気温の推移を示す。棒グラフは各年の平均気温の平年差（平年値との差）を示している。太線（青）は平年差の 5 年移動平均を示し、直線（赤）は平年差の長期的傾向を直線として表示したものである。平年値は 1971～2000 年の 30 年平均値。

出典：気象庁、2009

山形俊男先生
（アプリケーションラボ・JAMSTEC)

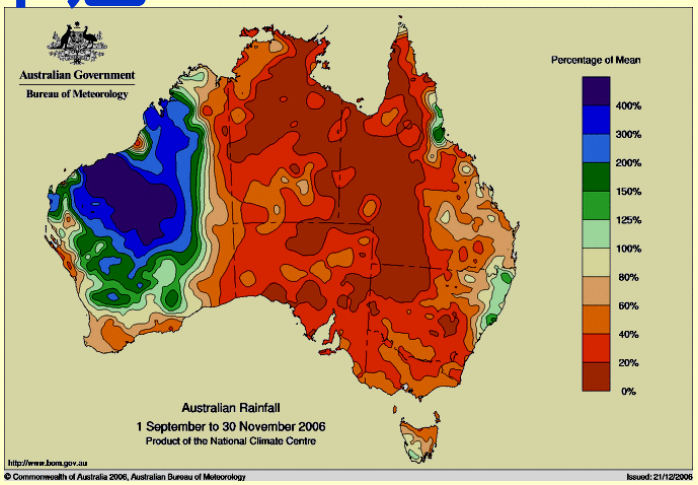
世界の主な気象災害分布図（1998～2004年）



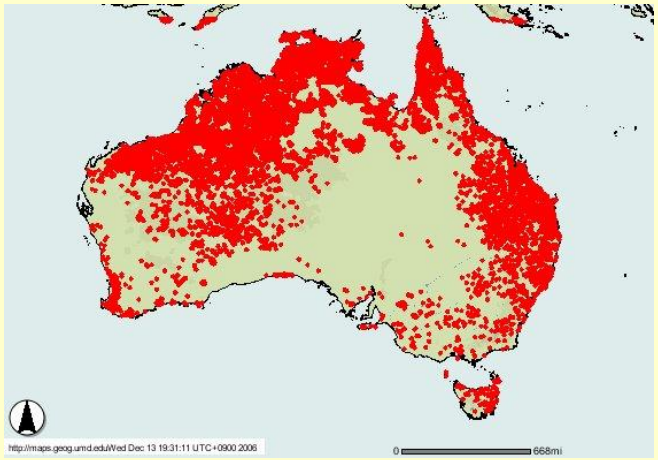
山形俊男　教授
（アプリケーションラボ・JAMSTEC)

2006年オーストラリア百年来の旱魃

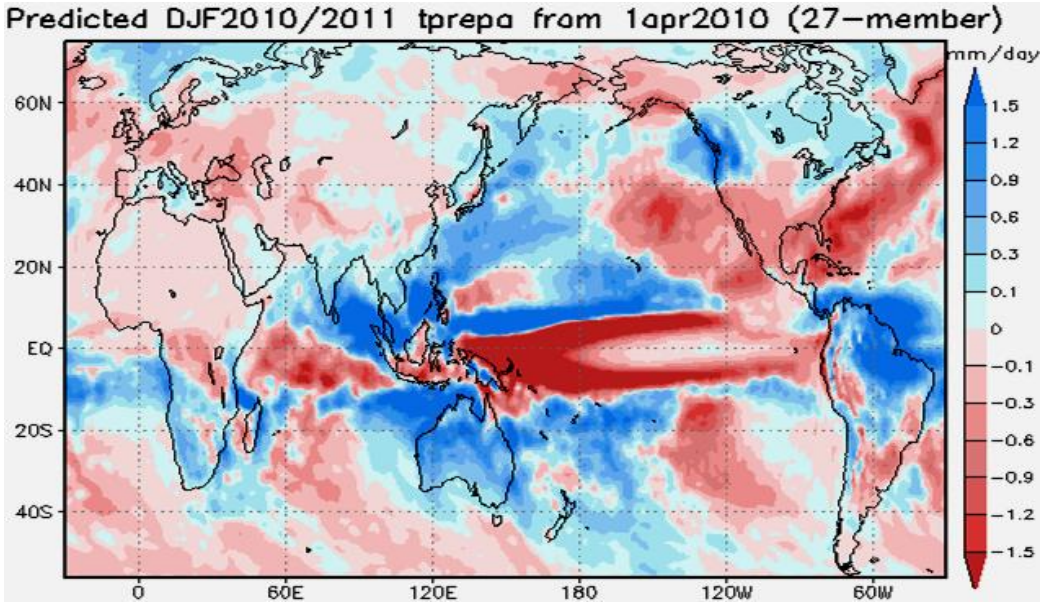
ダイポールモード現象



Bush fires during Sep-Nov 2006

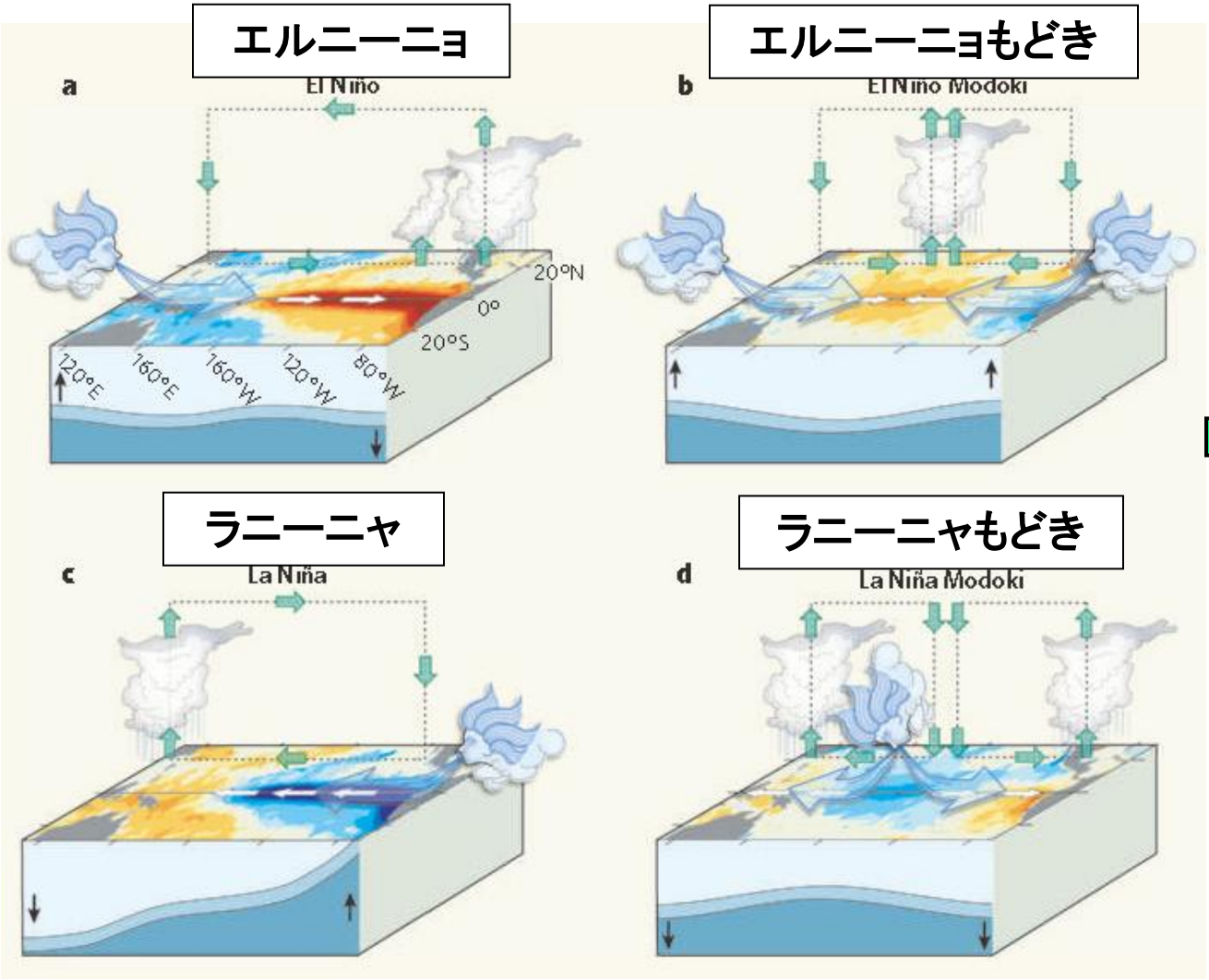


Forecast Results of Heavy Rain in Brazil 2011



エルニーニョ(ラニーニャ)現象と
エルニーニョ(ラニーニャ)もどき現象

山形俊男　先生
(アプリケーションラボ・JAMSTEC,)

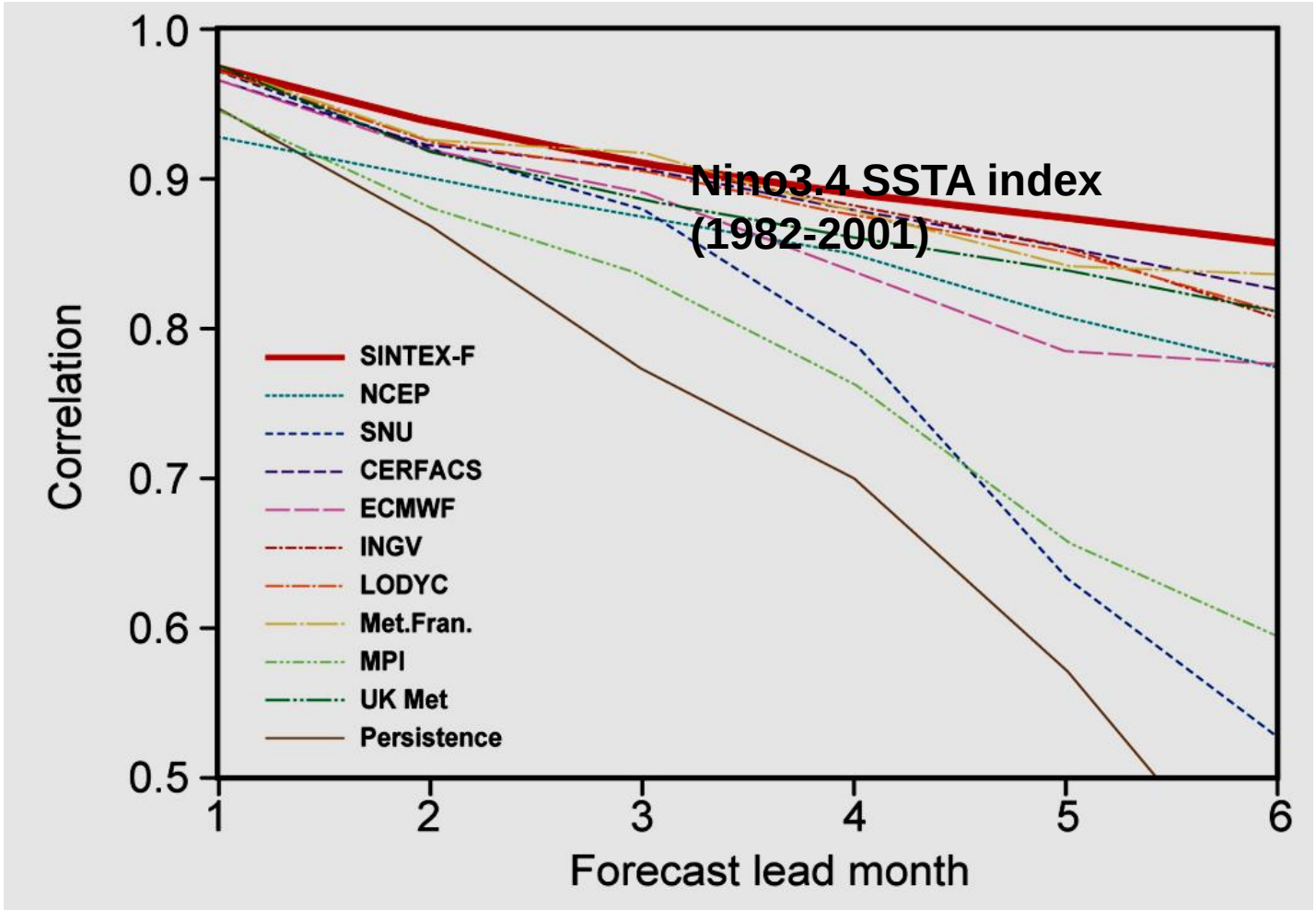


(Ashok and Yamagata, Nature, 461, 481-484, 2009)

地球規模の
気候変動への
影響

結合モデルSINTEX-Fによる熱帯気候変動予測実験

Achieved the No. 1 ENSO prediction skill among the world leading 10 CGCMs !!



Jin et al. 2008, J. Climate (in press); also APCC CliPAS Report in 2007

2004 年の猛暑と台風災害

山形俊男　教授
（アプリケーションラボ・JAMSTEC）

Flood

平成16年台風第18号

Strong Wind

平成16年台風第18号　北海道新聞社

High Tide

平成16年台風16号　四国新聞社

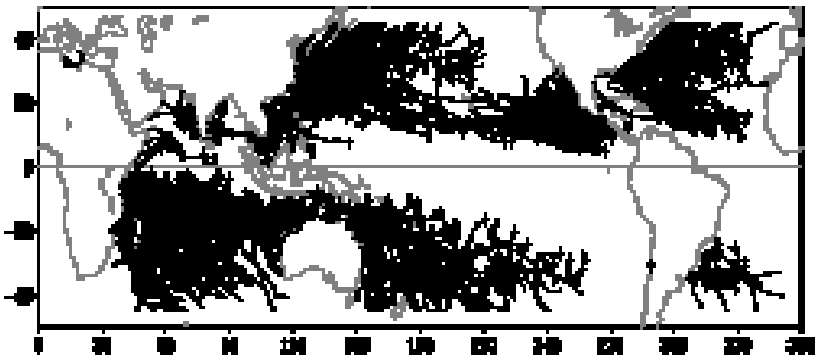
Landslide

平成16年台風第23号　神戸新聞

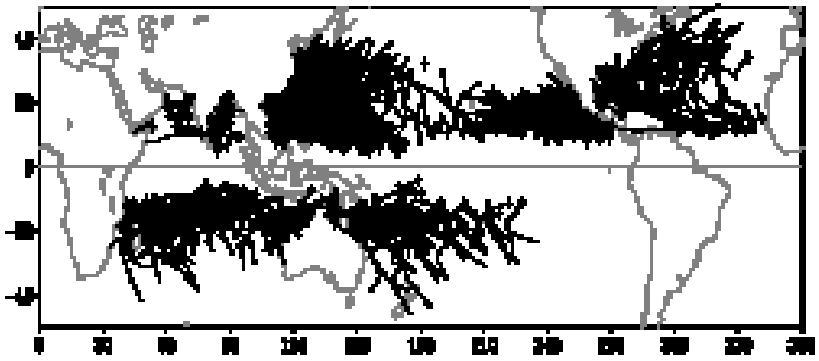
地球温暖化に伴う熱帯低気圧の変化

台風の発生数は今世紀末に30%ほど少なくなるが、強い台風の割合が増える。

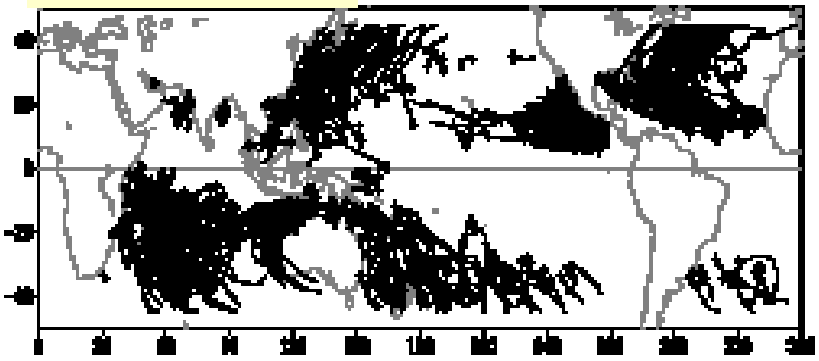
現在気候



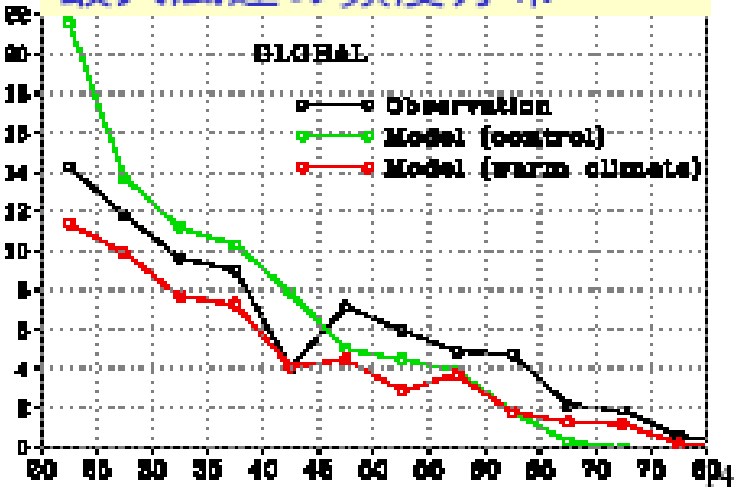
観測(1979-1988)



温暖化気候



最大風速の頻度分布



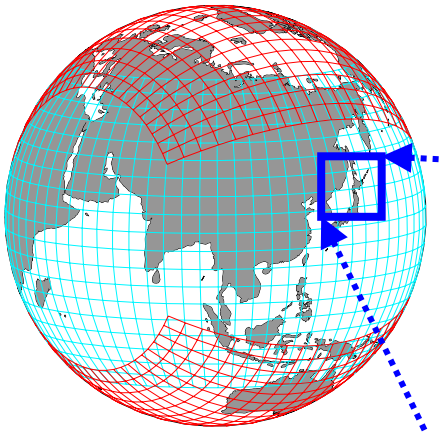
気象庁気象研　室井ちあし氏資料より転載

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)

超詳細な都市気候モデルによる未来の都市設計
気候変動をとらえ、都市気候の変化を予測する

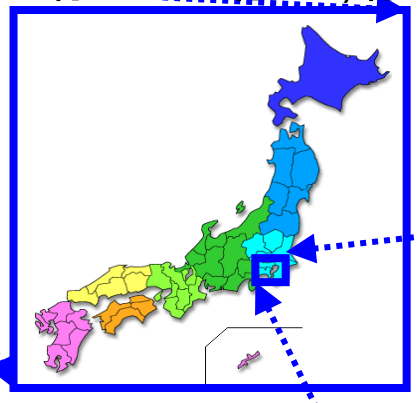
全球：気候変動予測モデル

約2km～10 km, 約100層



領域：メソスケール現象予測モデル

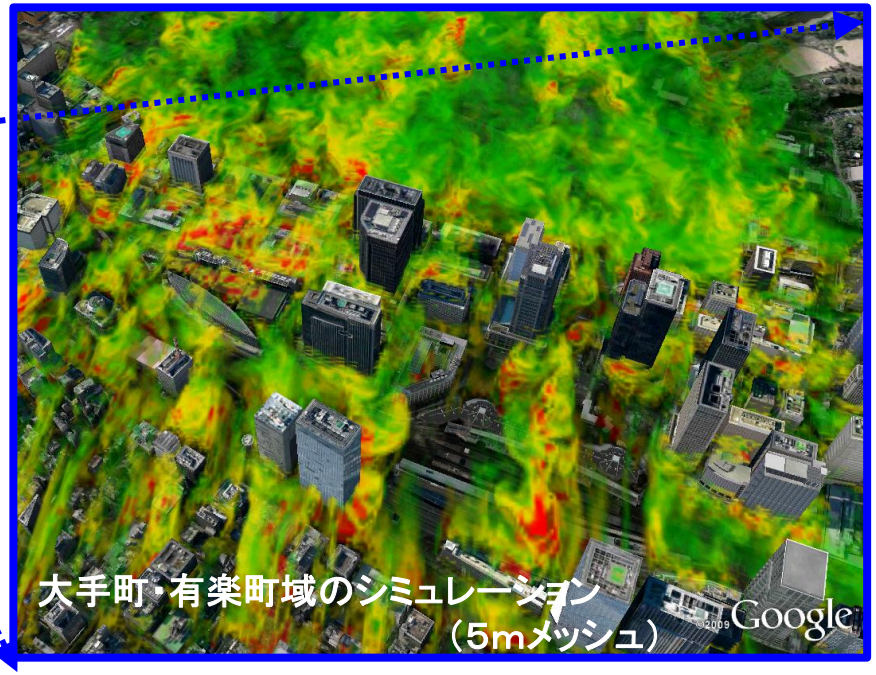
約100m～約2km, 約100層



全球，領域から都市スケールまでをシームレスに連成し
気候変動から都市気候までを
同一モデルで、同時にシミュレーション可能な
雲解像・大気海洋結合モデル：

超詳細な都市気候モデル

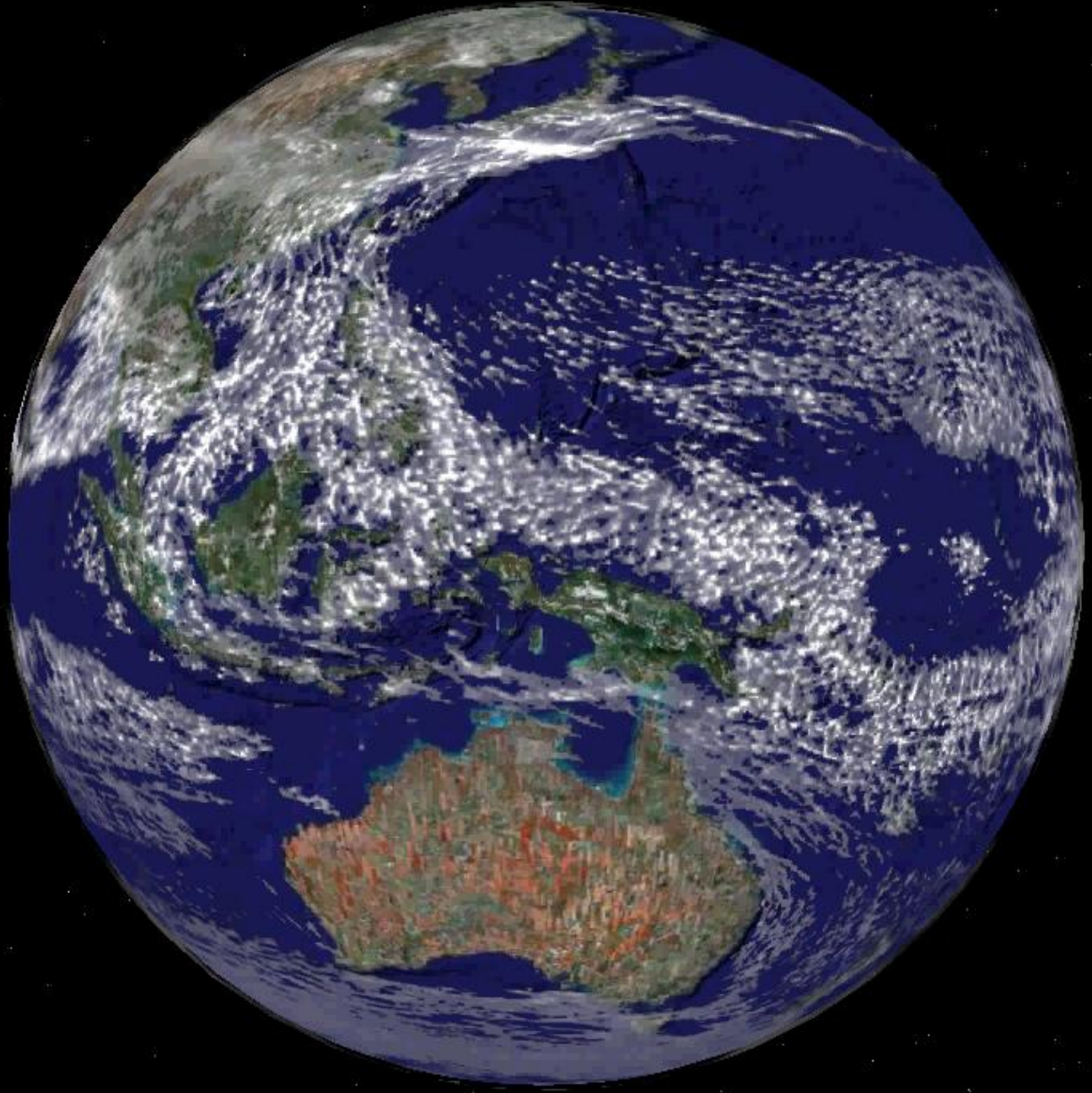
数m～数100m, 約200層



MSSGの特徴：

- 大気境界層や成層，降雨・雲等の水物質生成プロセス，3次元放射プロセス，乱流(LES)を統合した全球と領域の両方に対応可能な大気・海洋連成
- Adaptive Mesh Refinementのよる動的スケール変換を採用
- 人工排熱、建造物素材の設定など豊富なオプション

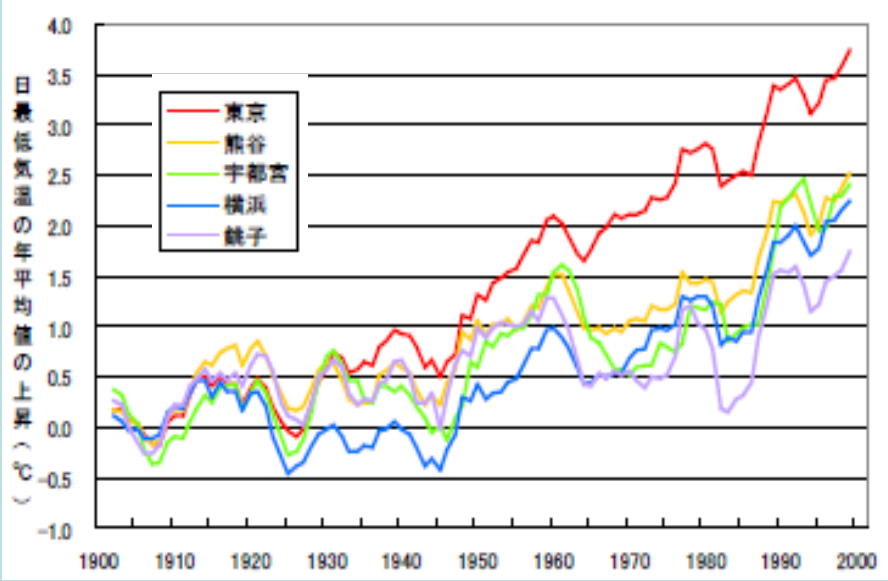
Results from MSSG on Google Earth



都市の気候の変化の実態

ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査委報告書（概要）

- 環境省環境管理局大気生活環境室 -



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。

主な大都市及び中小都市を平均した年平均気温

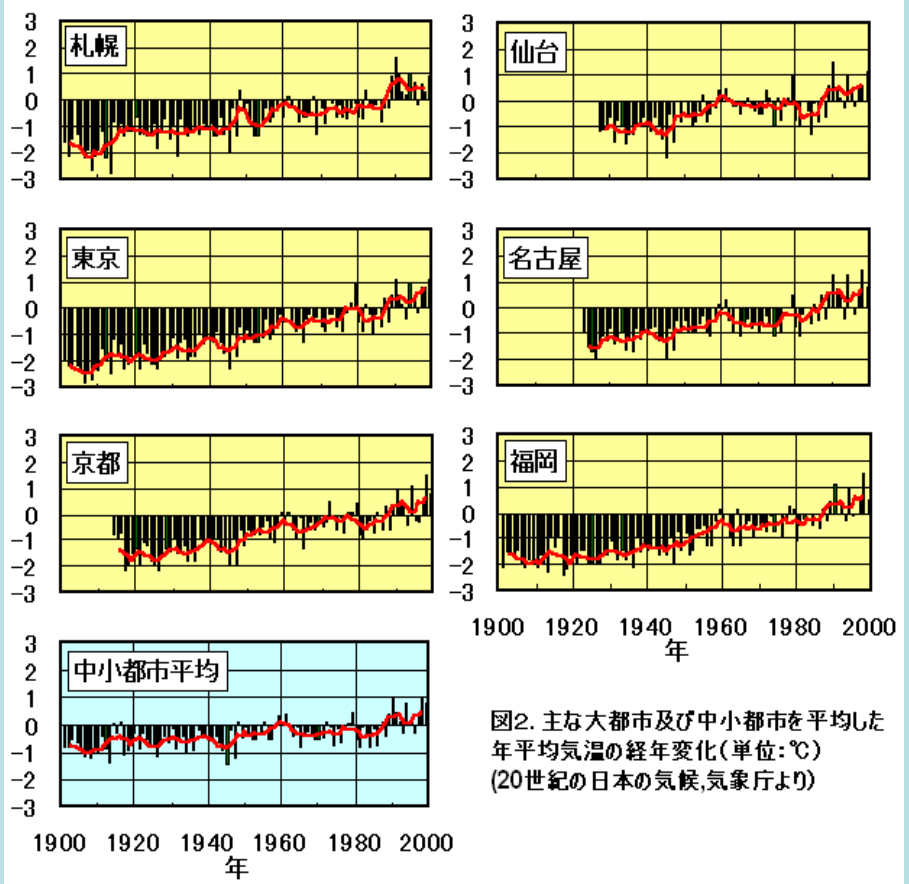
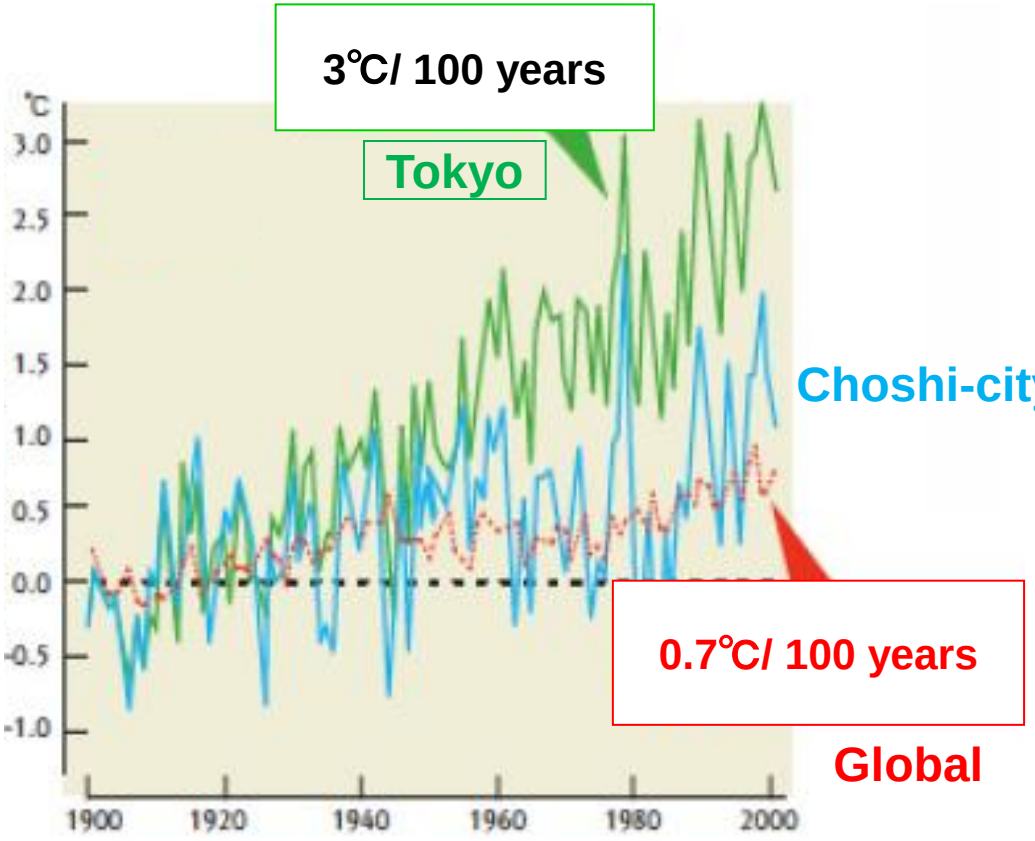


図2. 主な大都市及び中小都市を平均した年平均気温の経年変化（単位：℃）
(20世紀の日本の気候,気象庁より)

（出典：20世紀の日本の気候，気象庁より

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

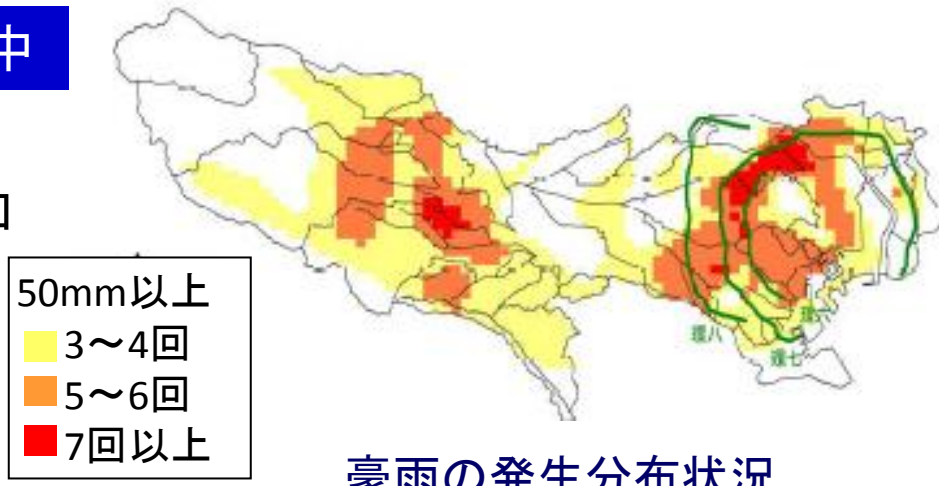
東芝エレベータ(株）FortuneDesign(07/2006)より

国立環境研究所　林誠二主任研究員

－東京都における降雨状況･浸水被害状況の変化－

豪雨は増加傾向、且つ一部地域に集中

過去15年間で時間50mm以上の豪雨の
観測回数、延べ観測点数とも顕著な増加

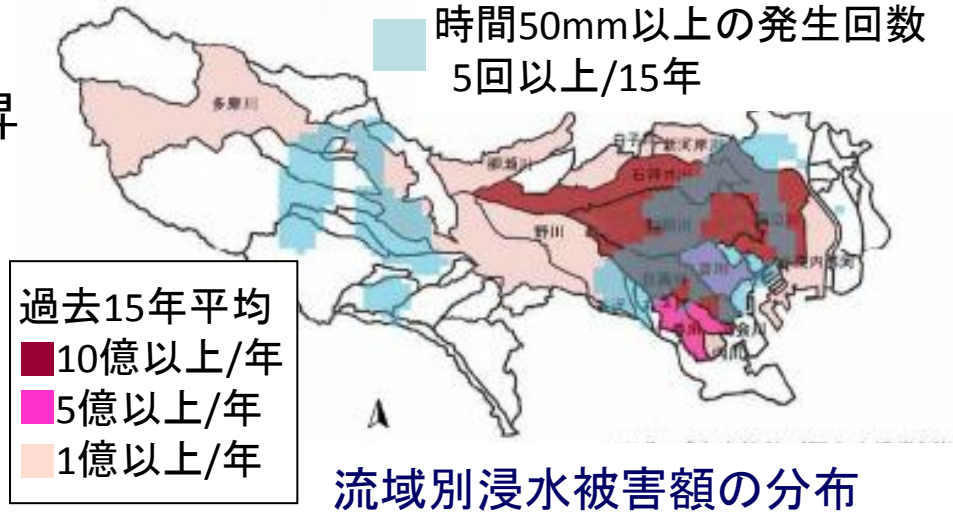


豪雨の発生分布状況
（1kmメッシュ）（過去15年（H3～H17）

浸水被害は質的に変化、且つ一部地域に集中

水害密度（一般被害額/浸水面積）の上昇
→過去１５年間で5倍に

気候変動がこの傾向に拍車をかける
可能性大

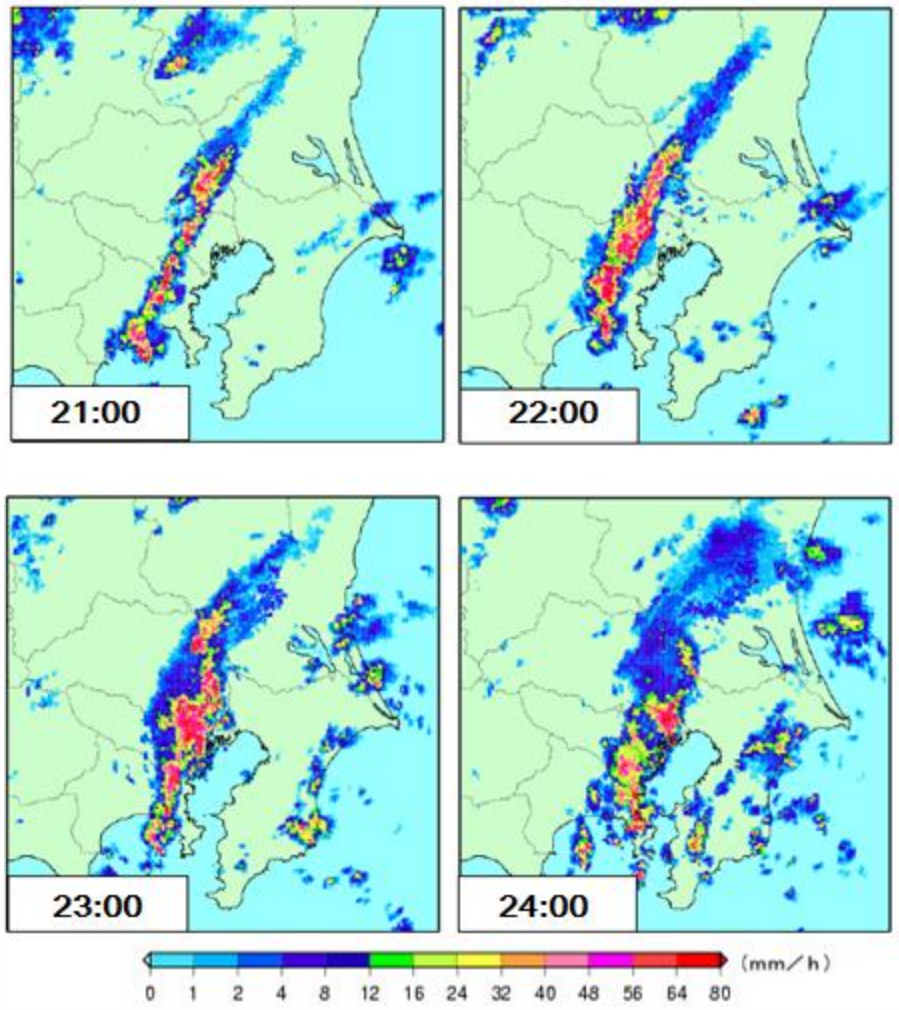


流域別浸水被害額の分布

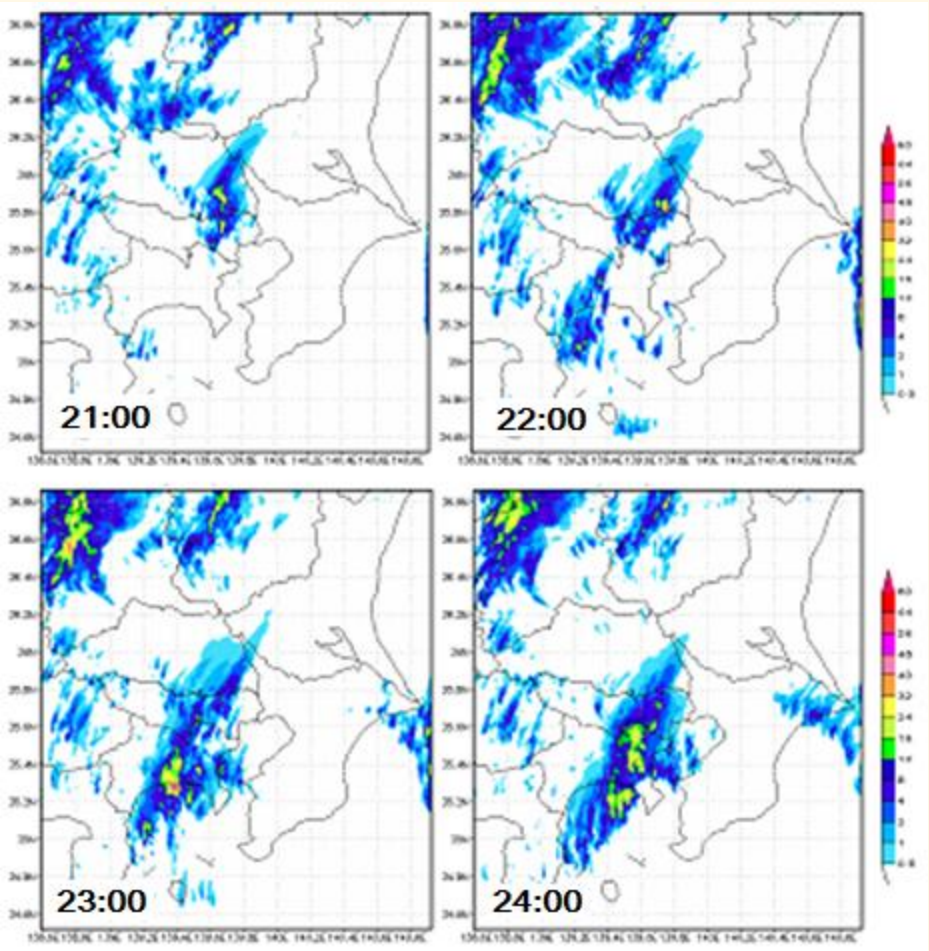
Hindcast Simulation with Urban Canopy Layer Model in MSSG

Tokyo Heavy Rain in 2005

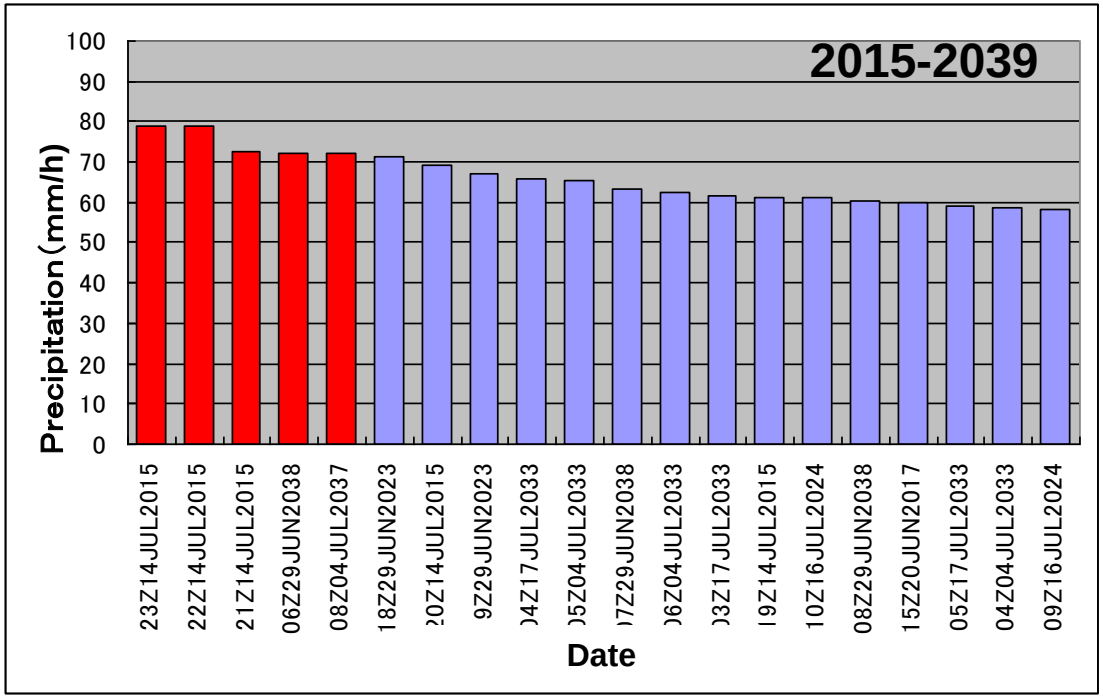
Obaservational Data

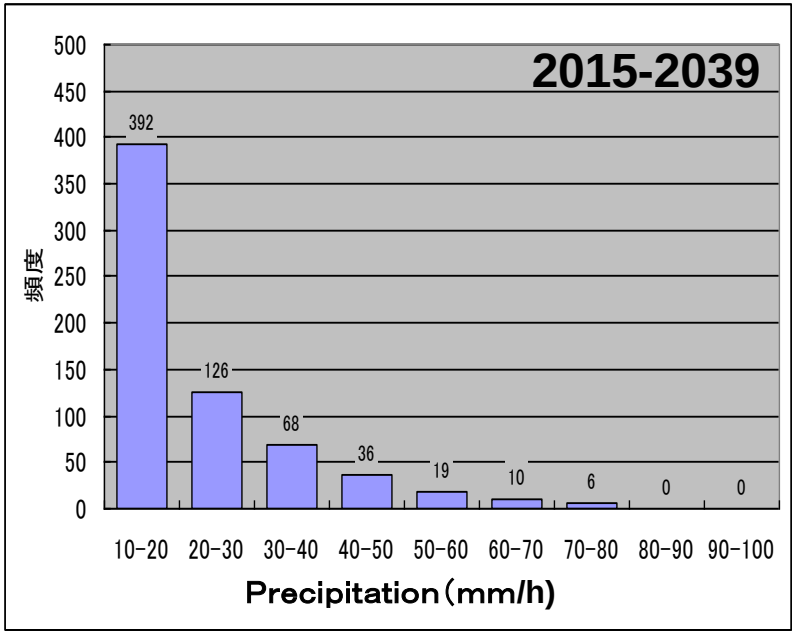


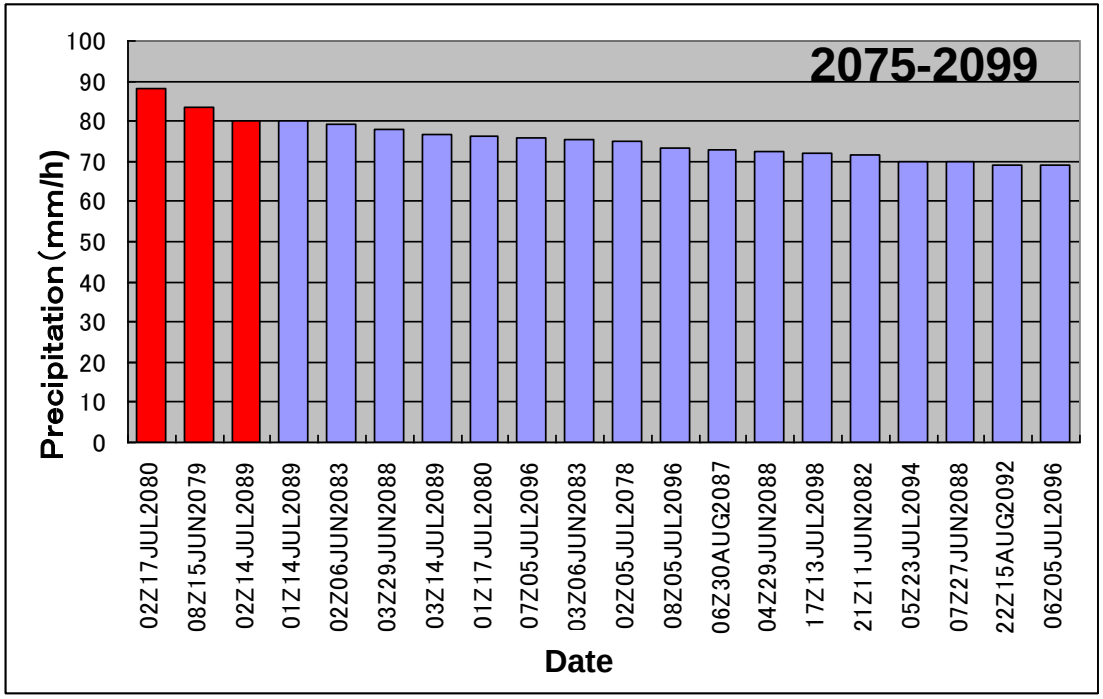
Simulation Results

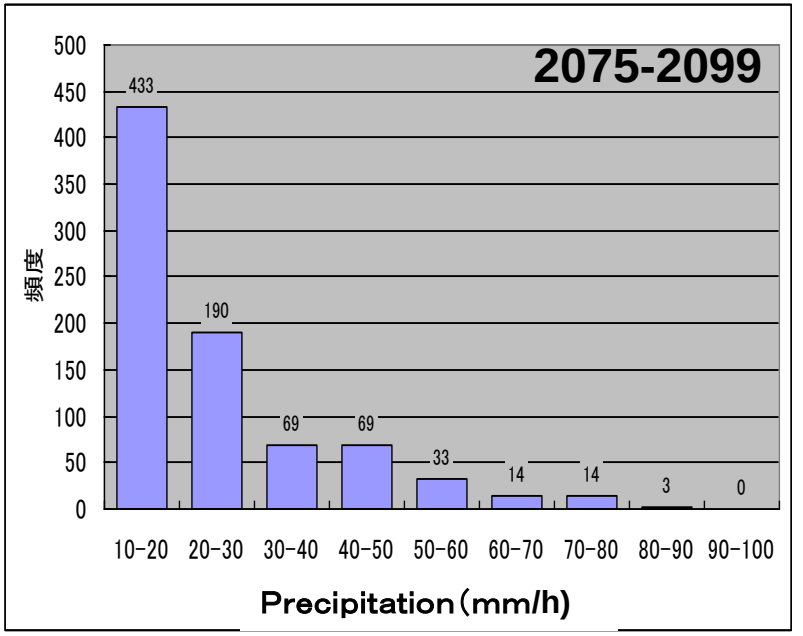


Organized/rapid cloud development can not be seen in simulations


2015-2039
Precipitation (mm/h)
Date
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
23Z14JUL2015
22Z14JUL2015
21Z14JUL2015
06Z29JUN2038
08Z04JUL2037
18Z29JUN2023
20Z14JUL2015
9Z29JUN2023
04Z17JUL2033
05Z04JUL2033
17Z29JUN2038
06Z04JUL2033
03Z17JUL2033
19Z14JUL2015
10Z16JUL2024
08Z29JUN2038
15Z20JUN2017
05Z17JUL2033
04Z04JUL2033
09Z16JUL2024


2015-2039
頻度
Precipitation (mm/h)
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
392
126
68
36
19
10
6
0
0
10-20
20-30
30-40
40-50
50-60
60-70
70-80
80-90
90-100


2075-2099
Precipitation (mm/h)
Date
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
02Z17JUL2080
08Z15JUN2079
02Z14JUL2089
01Z14JUL2089
02Z06JUN2083
03Z29JUN2088
03Z14JUL2089
01Z17JUL2080
07Z05JUL2096
03Z06JUN2083
02Z05JUL2078
08Z05JUL2096
06Z30AUG2087
04Z29JUN2088
17Z13JUL2098
21Z11JUN2082
05Z23JUL2094
07Z27JUN2088
22Z15AUG2092
06Z05JUL2096


2075-2099
頻度
Precipitation (mm/h)
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
433
190
69
69
33
14
14
3
0
10-20
20-30
30-40
40-50
50-60
60-70
70-80
80-90
90-100

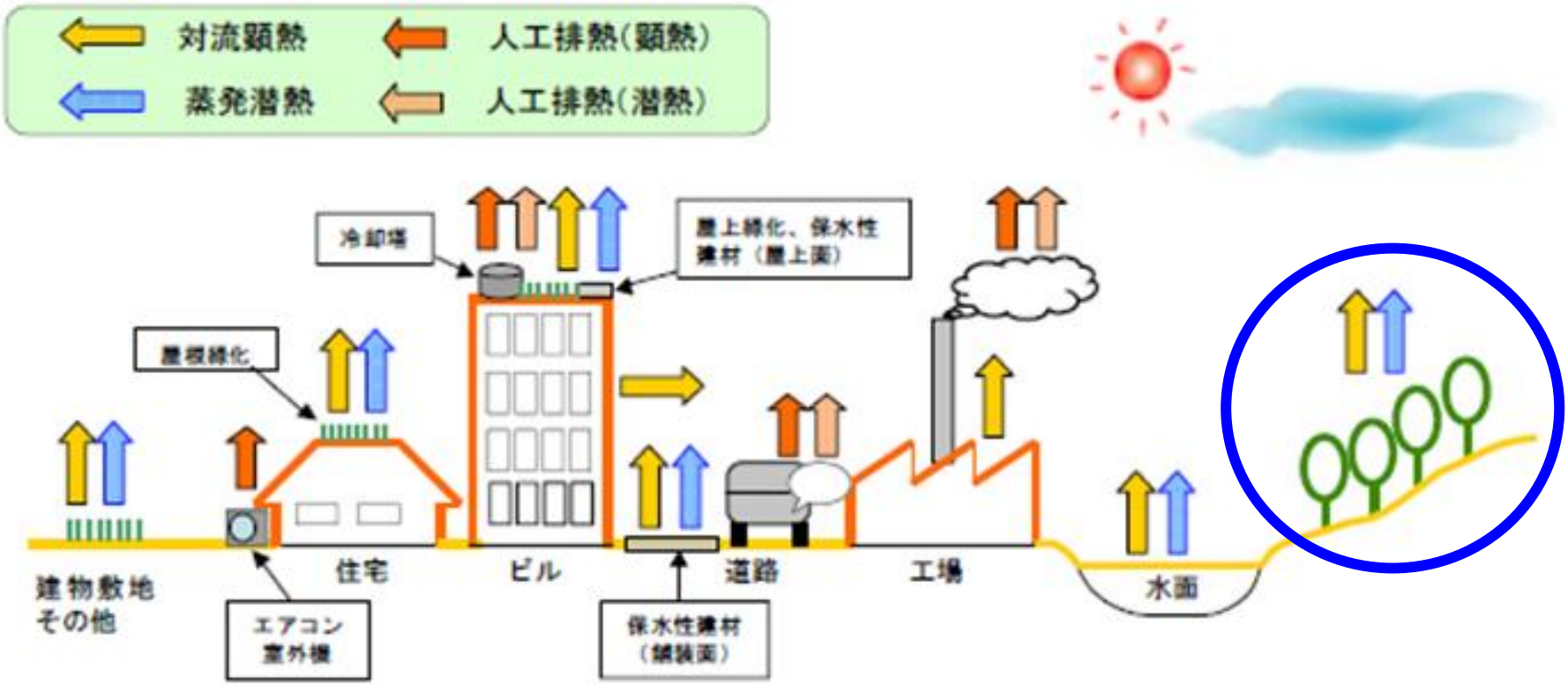
地球温暖化が進む中で、
気候変動が影響を受け、
その状況下での

局地的な、身の周りの環境に直結する
気象や気候のがどう変化するかを予測

さらに、
予測“しっぱなし”ではダメ、

予測結果をどう活用するか？
活用できる予測とは何か？

ヒートアイランドと豪雨に影響を与えると考えられる要因



対流顕熱
（地表面）：建物敷地、道路、水面等の地表面から大気に放出される対流顕熱
（建物表面）：ビル、住宅、工場建物等の建物表面（屋根・屋上面、壁面）から大気に放出される対流顕熱
（樹木）：樹木から大気に放出される対流顕熱

蒸発潜熱
（地表面）：建物敷地、道路、水面等の地表面から大気に放出される蒸発潜熱
（建物表面）：ビル、住宅、工場建物等の建物表面（屋根・屋上面、壁面）から大気に放出される蒸発潜熱
（樹木）：樹木から大気に放出される蒸発潜熱

人工排熱（顕熱）：建物、自動車、工場のエネルギー消費により大気に放出される人工排熱（顕熱）
人工排熱（潜熱）：建物、自動車、工場のエネルギー消費により大気に放出される人工排熱（潜熱）
大気熱負荷量（顕熱）：対流顕熱（地表面、建物表面、樹木）＋人工排熱（顕熱）
大気熱負荷量（潜熱）：蒸発潜熱（地表面、建物表面、樹木）＋人工排熱（潜熱）

3次元氾濫シミュレーション

林　誠二主任研究員（国立環境研究所）

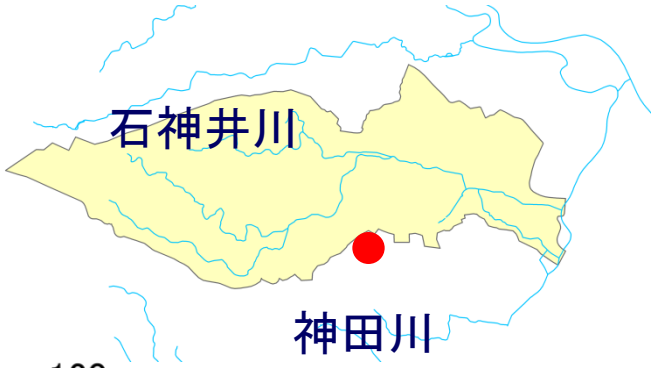
下水管渠水理解析（1次元）＋地表面洪水氾濫解析（2次元）

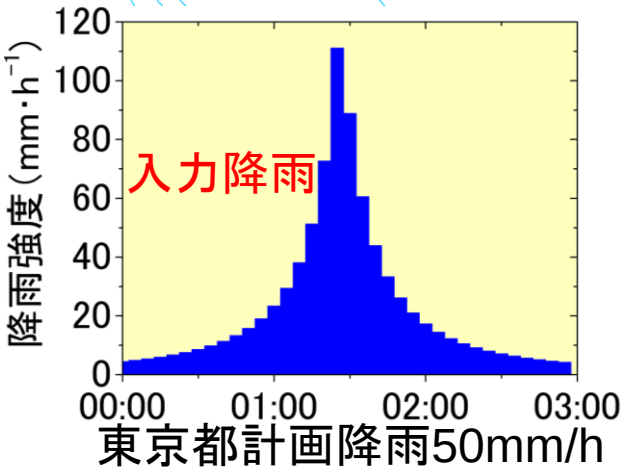
- **高精度・高解像度な地表面情報の整備**

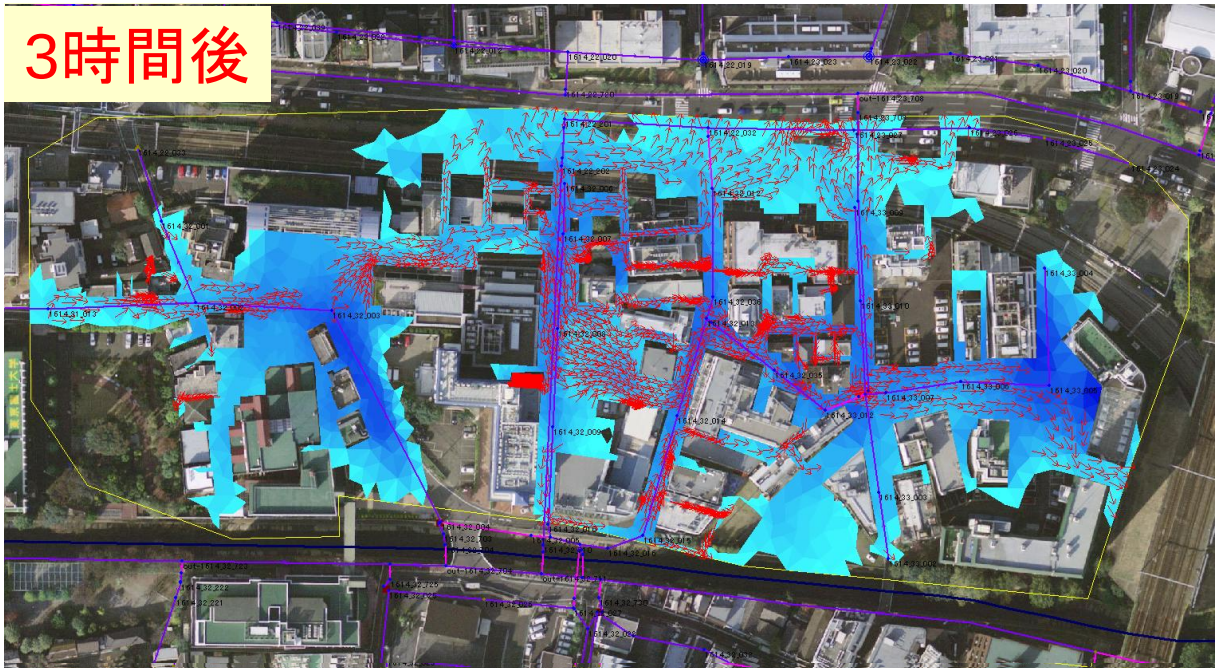
（数値標高：1m，航空写真：20cm解像度，建物・土地利用現況：縮尺1:2,500，・・・）

- **シミュレーションの実施**

結果の1例：計画降雨を入力データとした神田川落合崖線下での氾濫計算結果







今後の展開：

モデルの検証・緑地整備による貯留効果の検討

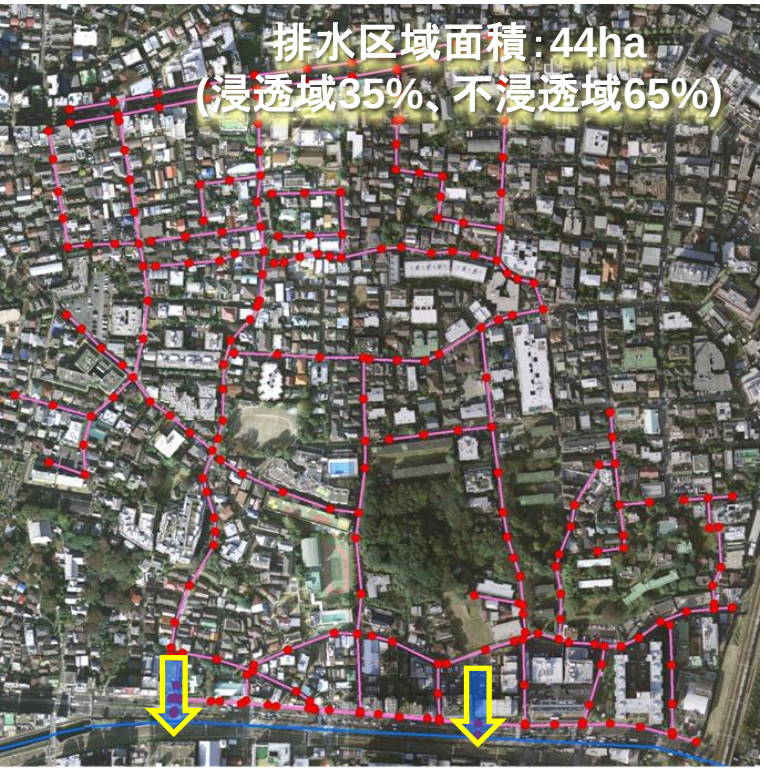
⇒適応策（新たな都市整備、公園緑地整備）構築へ貢献する。

緑化による浸透機能の反映が降雨流出に及ぼす影響

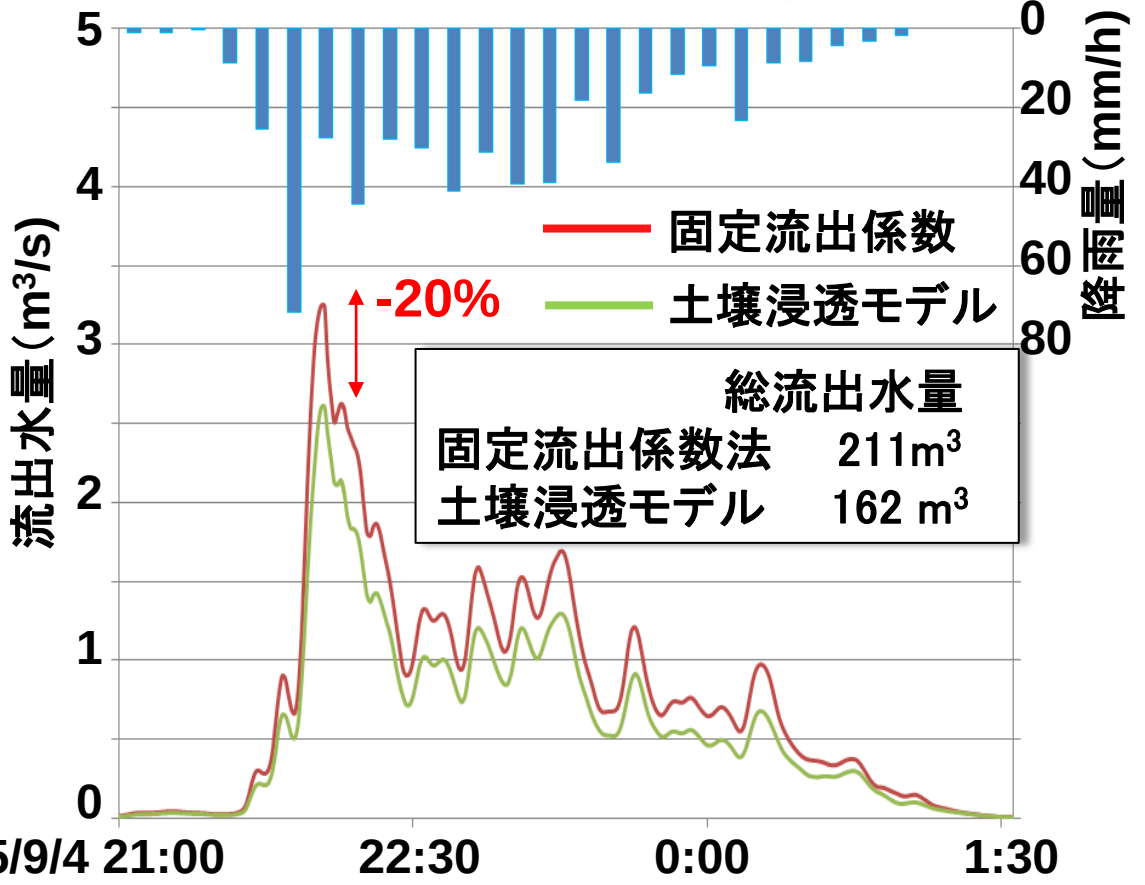
林　誠二主任研究員（国立環境研究所）

対象地：おとめ山公園周辺域
対象降雨：2005年9月4日（集中豪雨）

おとめ山公園周辺域



妙正寺川への流出量計算結果



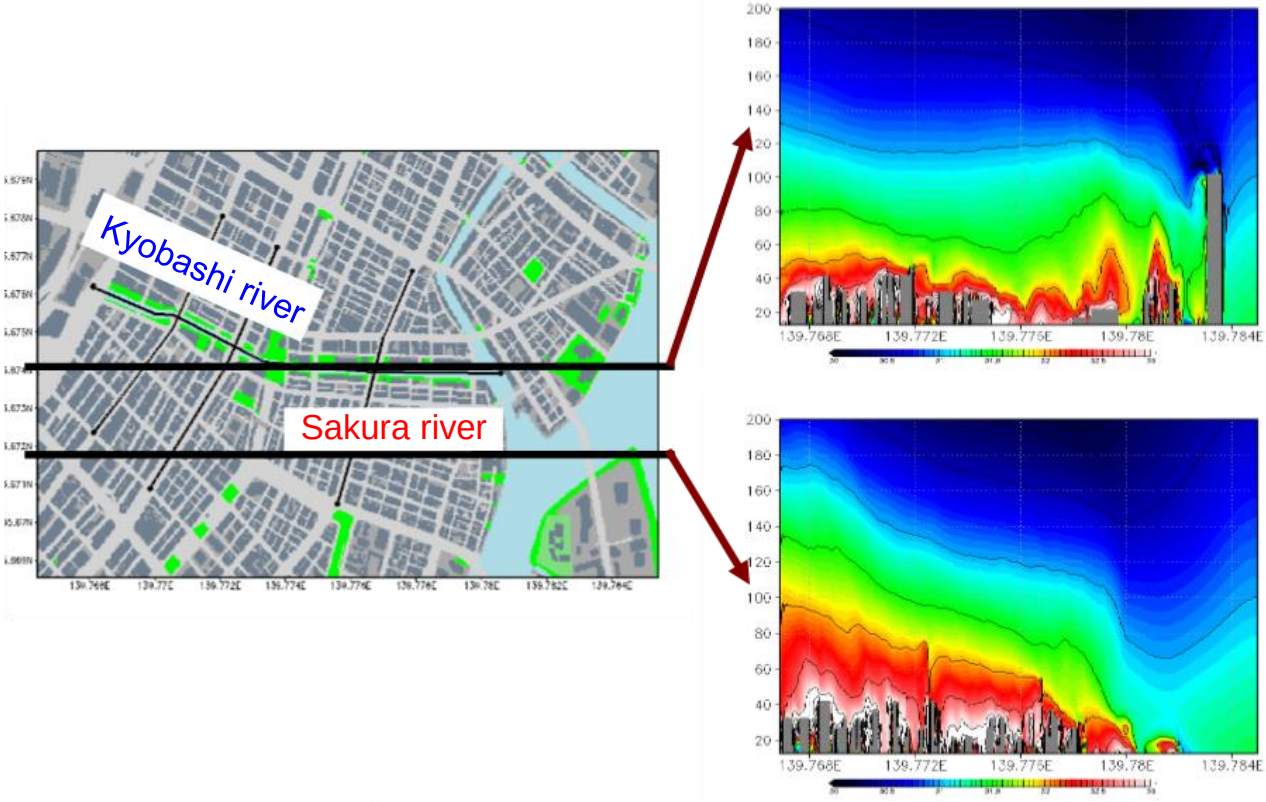
緑地公園等における雨水浸透が降雨流出を抑制！

ヒートアイラン現象の再現と
適応策シナリオ：京橋川の有無による風況場への影響

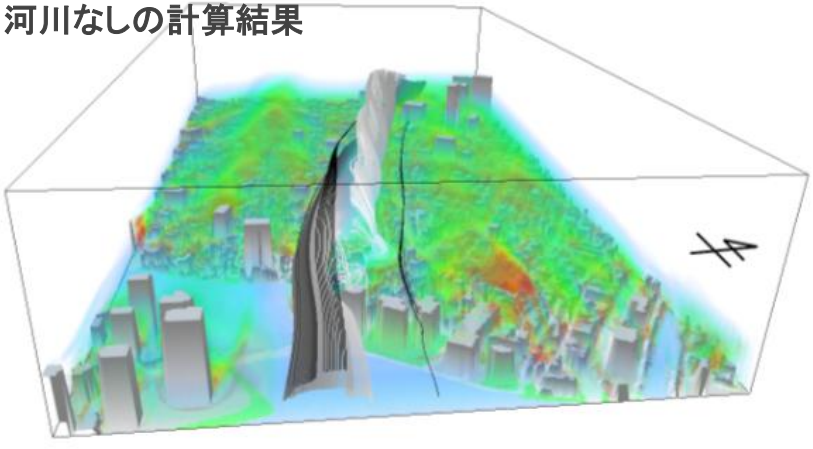
3次元非定常数値計算をMSSG-Aを用いて実施し、京橋川の有無による影響を調べた。

結果：

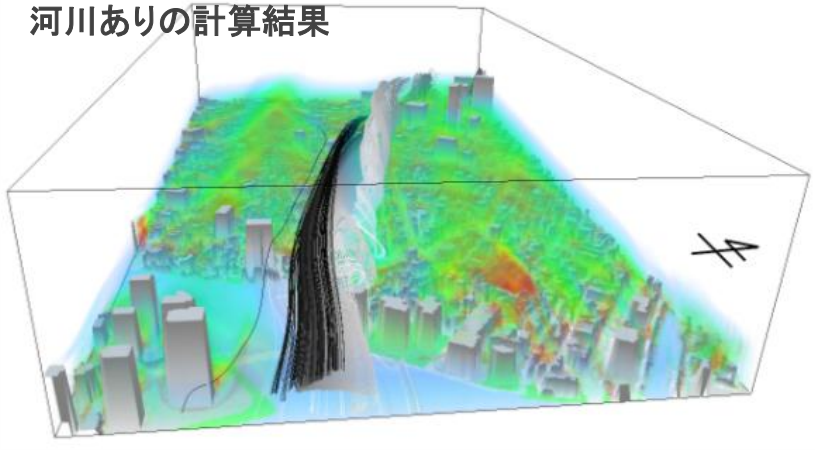
- 河口付近の高層ビルの影響により、河川上の熱境界層は急激に発達する。これにより、桜川上では弱風となり風の道の効果は小さい。
- 河川が有ることにより、河川上空における下降流が強まり、上空の涼風を地表面へと運ぶ効果が増大される。
- **河川が再生することにより、河口付近の空気をより西側まで運ぶようになる。**



河川なしの計算結果

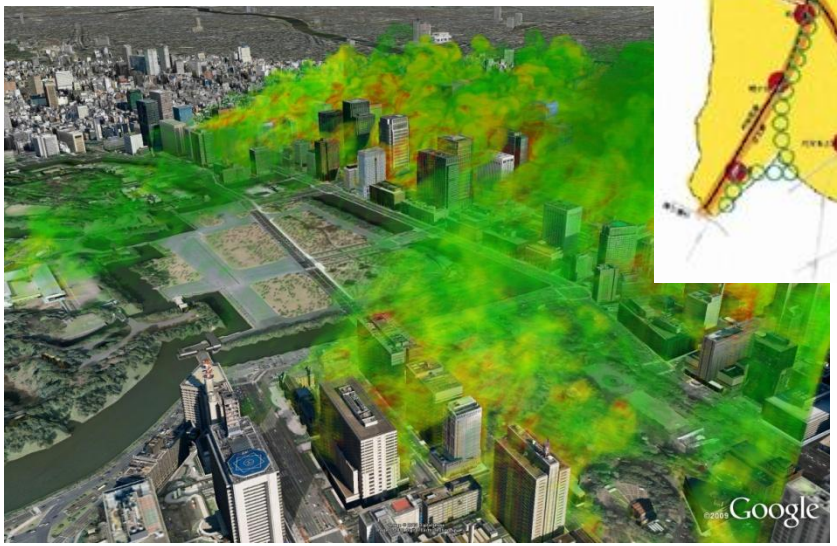


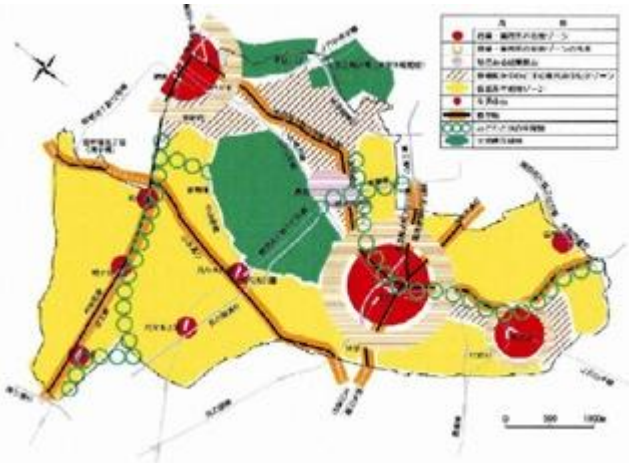
河川ありの計算結果

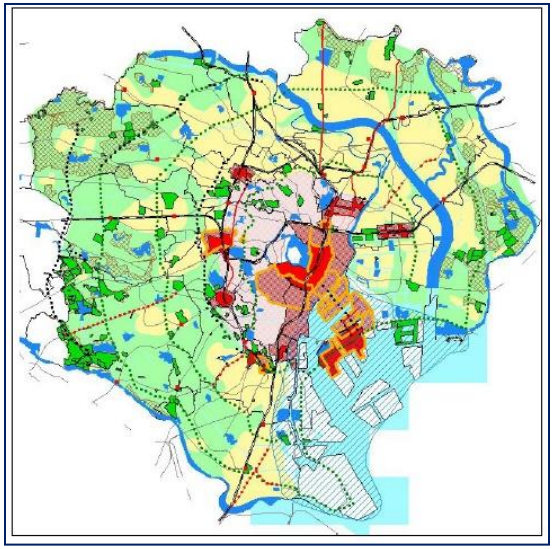


都市・臨海・港湾環境のマルチスケール性

都市環境は、時間，日々，季節とともに変化する気象・気候変動から影響を受ける非線形・非平衡な複雑系であるとともに，人口排熱などのミクロな人的スケールの現象から，街区，都市全体，地域全体が互いに影響を及ぼしあう，極めて高い動的な特徴を備えたマルチスケールシステムである。







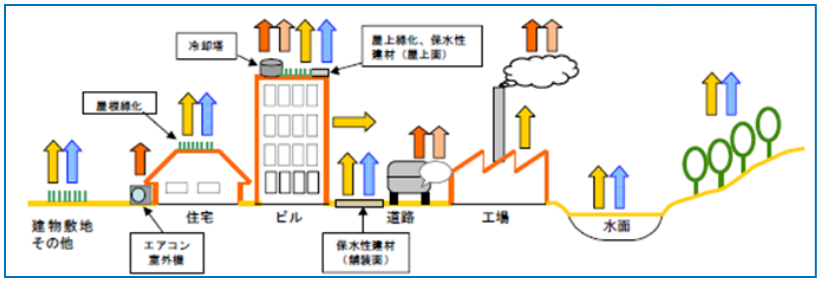
23区・都市環境スケール
ヒートアイランド現象など
10^4 ～10^5m　10^3min

区の都市計画スケール
10^3m　10^2min

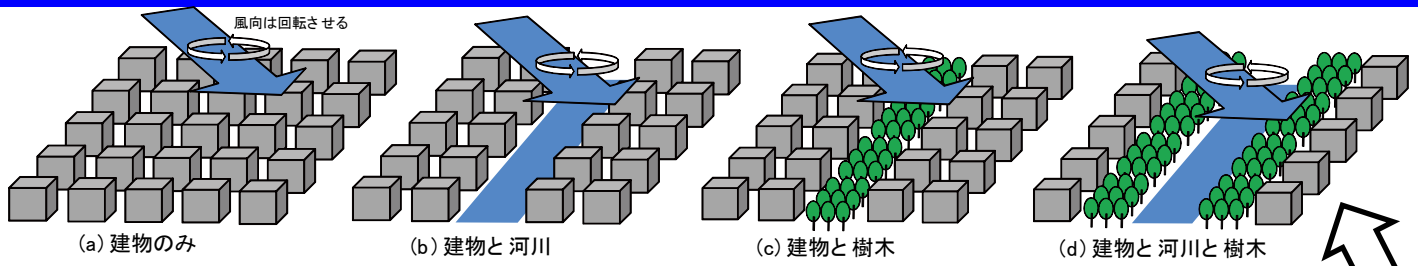
街区，住宅地，商業地
などのスケール
10^2m　10min

個々のビルや道路，
熱源などのスケール
1～10m　1min

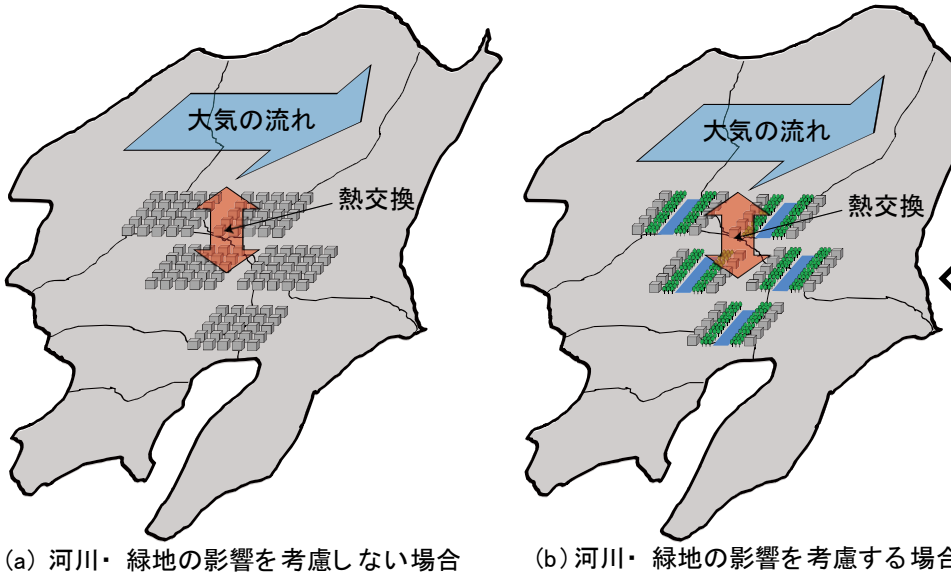
空間スケール　時間スケール



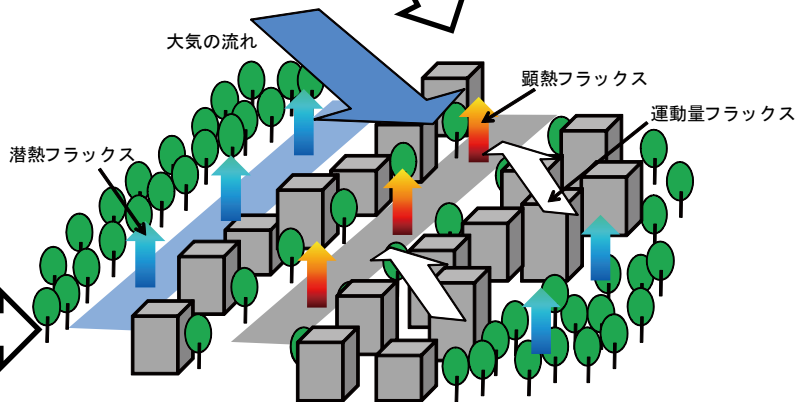
気象・気候の変化を考慮した環境デザインとは？



高解像度理想実験で得られる都市スケールの熱環境場



都市の影響を受けるメソスケール気象・気候



粗視化することで得られる都市から発生する運動量、顕熱・潜熱フラックス

異なるスケールの熱環境が気象へどう影響するのか？　しないのか？
例：水辺や緑地が気象を変化させるスケールはどれくらいか？

ありがとうございました。