

私たちが直面する2つの気候変化

—地球温暖化とヒートアイランド—

首都大学東京 都市環境科学研究科
地理環境学域 高橋日出男

大都市の気温上昇

都市ヒートアイランド+地球温暖化

2つの気候変化

地球温暖化

都市ヒートアイランド

グローバルスケール
(全球)

地域スケール(数km
~100km)

対流圏は気温上昇
成層圏は気温低下

高度は数十~千m
(都市境界層)

CO₂等の排出に伴う
温室効果の増大

都市化(地表面改変,
建築物, 人工排熱)

複雑な地球大気の仕
組みと相互作用

都市が置かれた多様
な地理的条件と関係

国際的な課題(経済
や政治の問題)

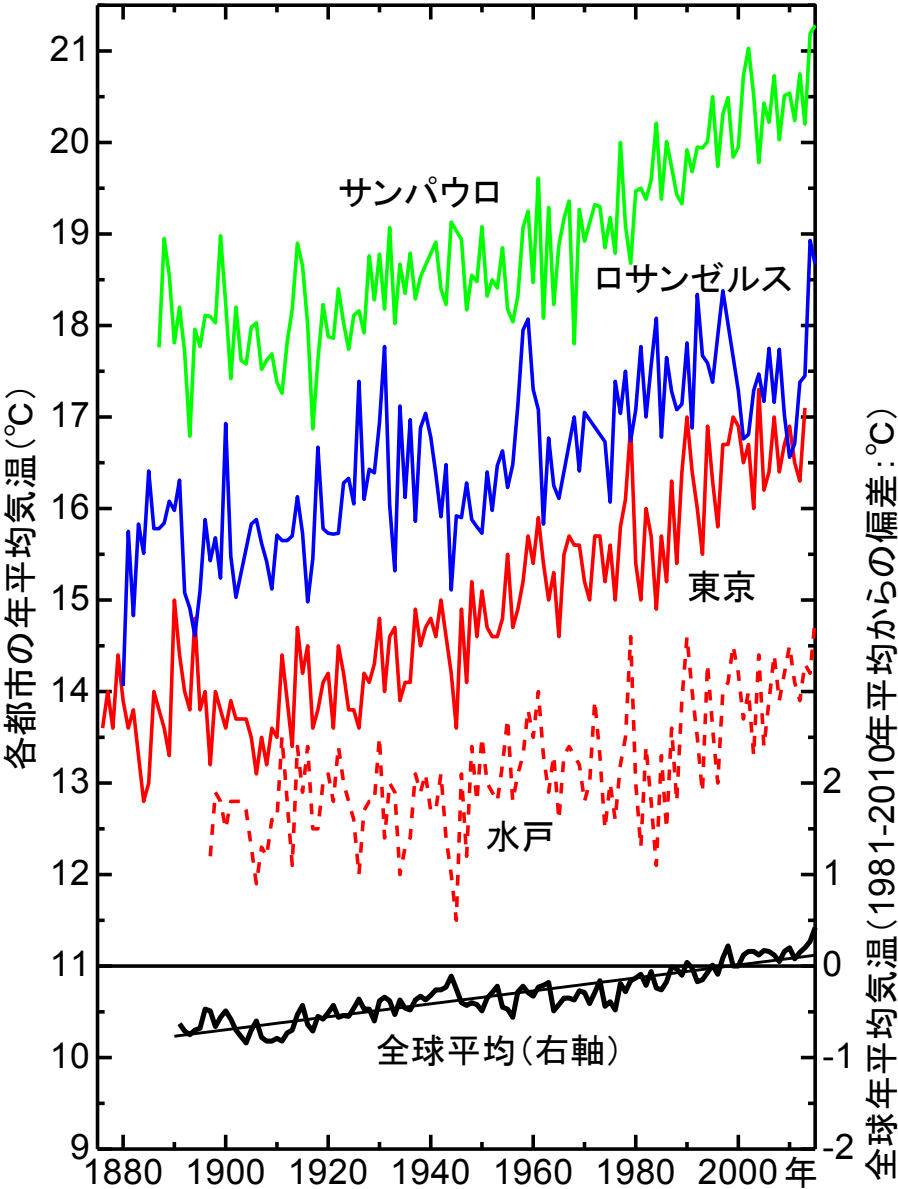
国・地域の環境問題

根本には人間活動がある

気温だけでなく降水現象などとも関係

生態系に影響

緩和・適応には大きな努力が必要



東京, ロサンゼルス, サンパウロおよび地球全体の年平均気温の長期変化(気象庁資料による)

本日のメニュー

1. 地球温暖化

- ◎気温変化の現状
- ◎温室効果とは？
- ◎将来予測の取り組み

2. 都市ヒートアイランド

- ◎ヒートアイランドと観測網の概要
- ◎冬季夜間の気温分布(構造の把握)
- ◎夏季日中の気温分布(海風との関係)

3. 都市の短時間強雨

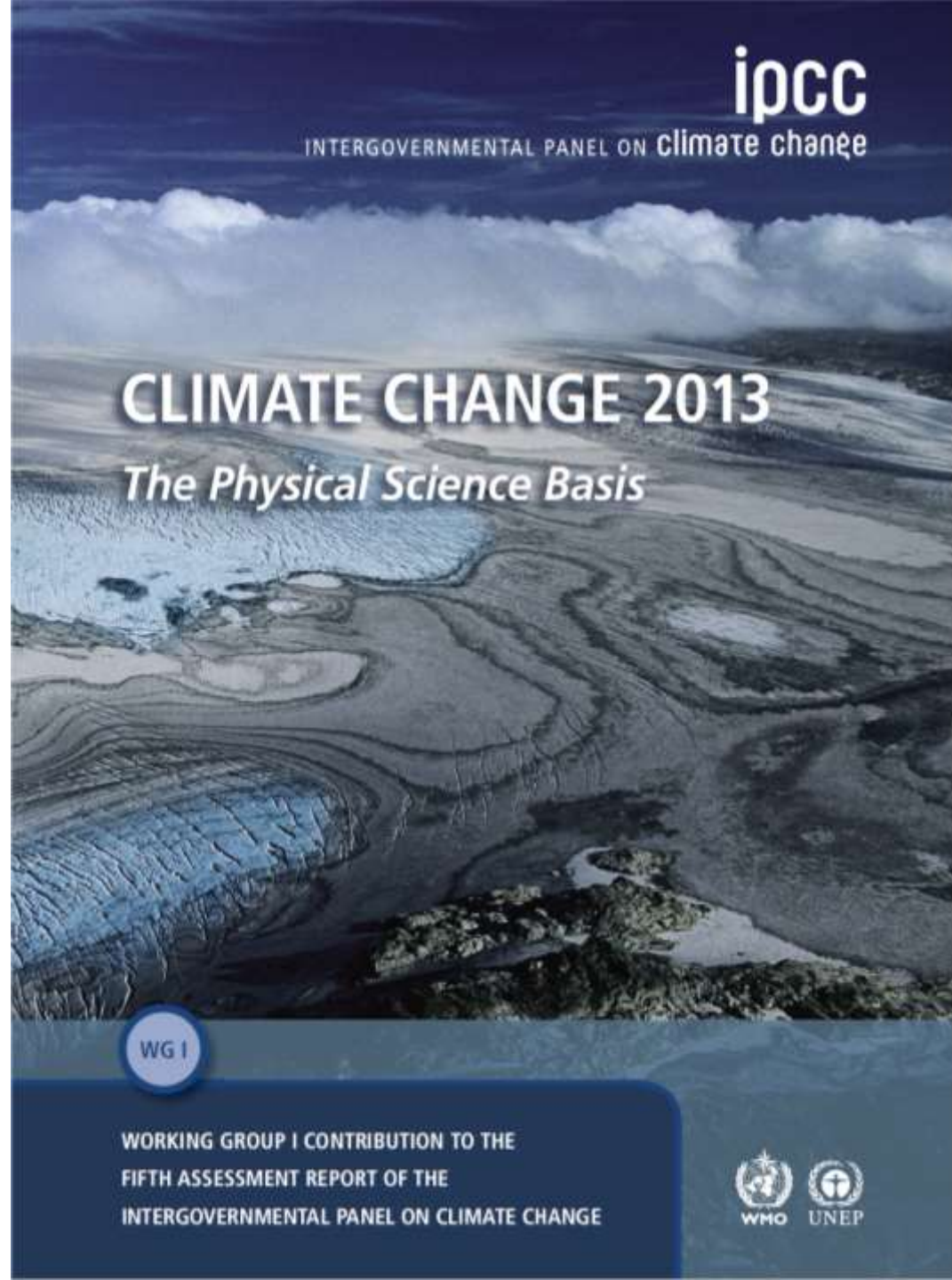
- ◎短時間強雨とは？
- ◎強雨の発生はどこで多い？
- ◎風の変化に気を付けよう

1. 地球温暖化

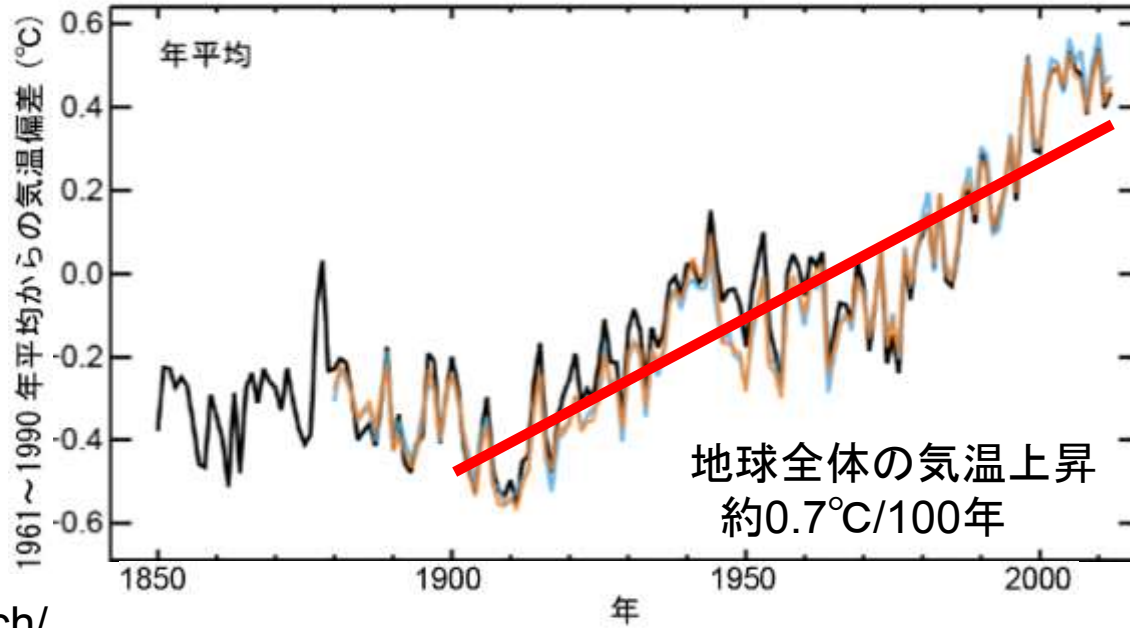
- ◎気温変化の現状
- ◎温室効果とは？
- ◎将来予測の取り組み

原文 <http://www.ipcc.ch/>
和訳 <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html> (気象庁)

IPCC(2013)



観測された世界平均地上気温
(陸域+海上)の偏差 (1850~2012年)



観測された地上気温の変化 (1901~2012年)

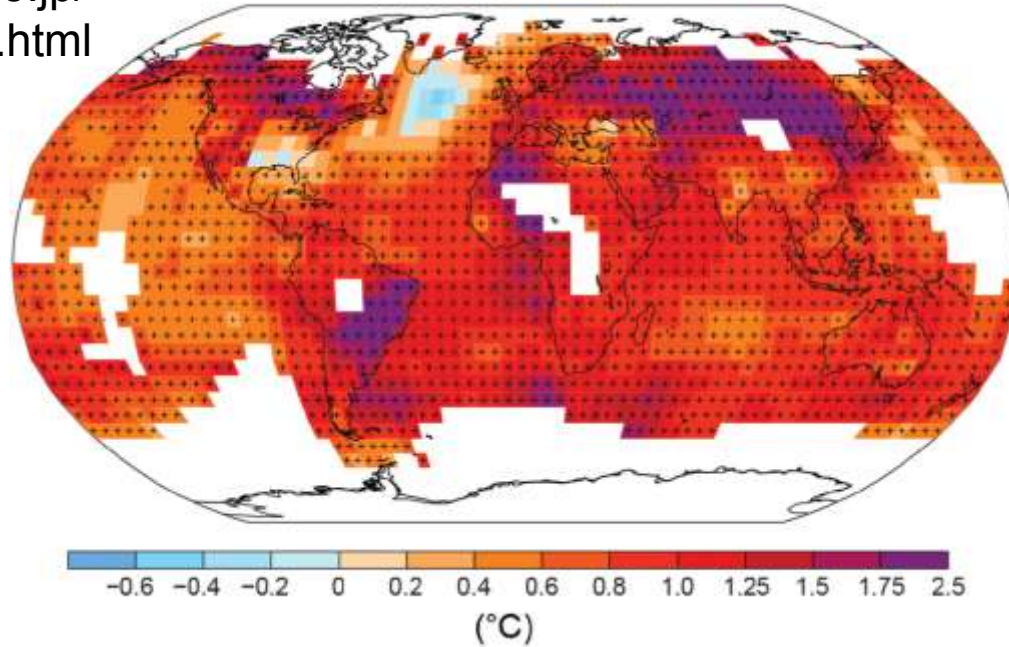


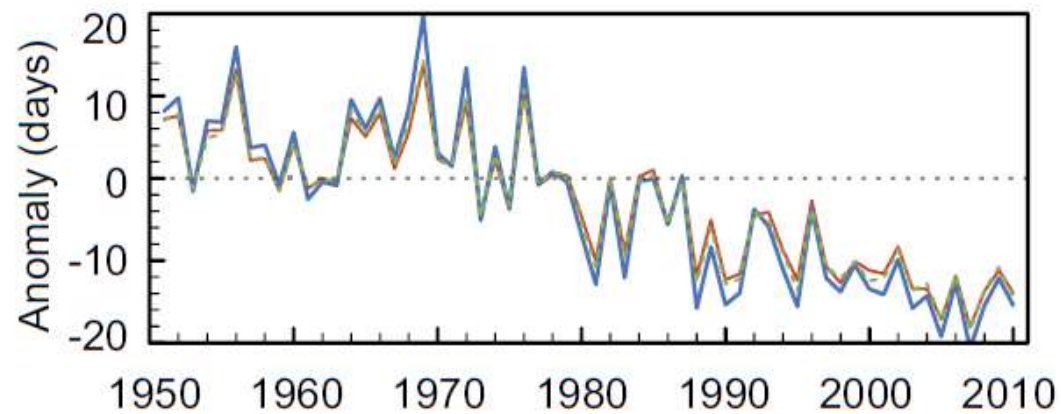
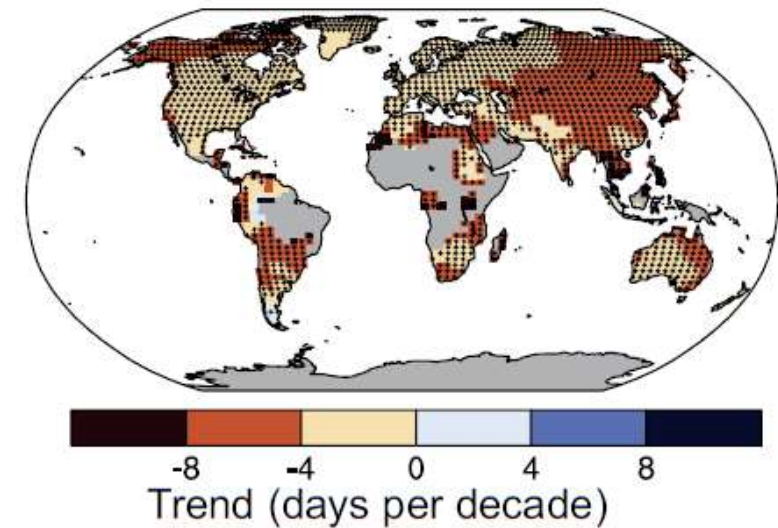
図 SPM.1: (a) 3つのデータセットによる、1850年から2012年までに観測された陸域と海上とを合わせた世界平均地上気温の偏差。上図: 年平均値、下図: 10年ごとの平均値(黒色のデータセットについては不確実性の推定を含む)。1961~1990年平均からの偏差。(b) 図aのオレンジ色のデータセットから線形回帰で求めた気温の変化傾向による1901年から2012年の地上気温変化の分布。変化傾向は、データが有効で確実な推定が可能である場所(すなわち、70%以上の完全な記録がそろっており、かつ期間の最初の10%と最後の10%においてそれぞれ20%以上のデータが利用可能な格子のみ)について計算されている。それ以外の領域は白色として示している。危険率 10%の水準で変化傾向が有意である格子点を+の記号で示す。データセットの一覧と、更に詳細な技術情報は、技術要約の補足資料を参照。{図 2.19~2.21、図 TS.2}

IPCC報告書

原文 <http://www.ipcc.ch/>

和訳 <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>
(気象庁)

(a) Cold Nights 日最低気温の低い日(日最低気温の低い方から10%)の現れ方



(b) Cold Days 日最高気温の低い日(日最高気温の低い方から10%)の現れ方

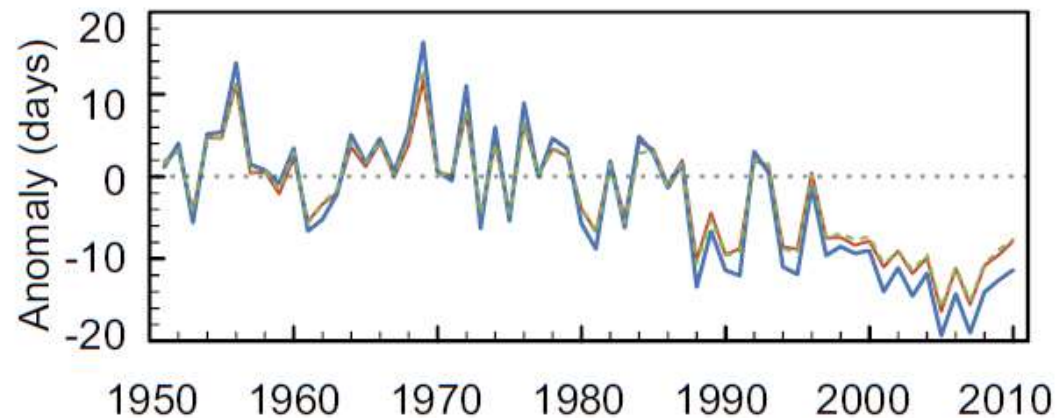
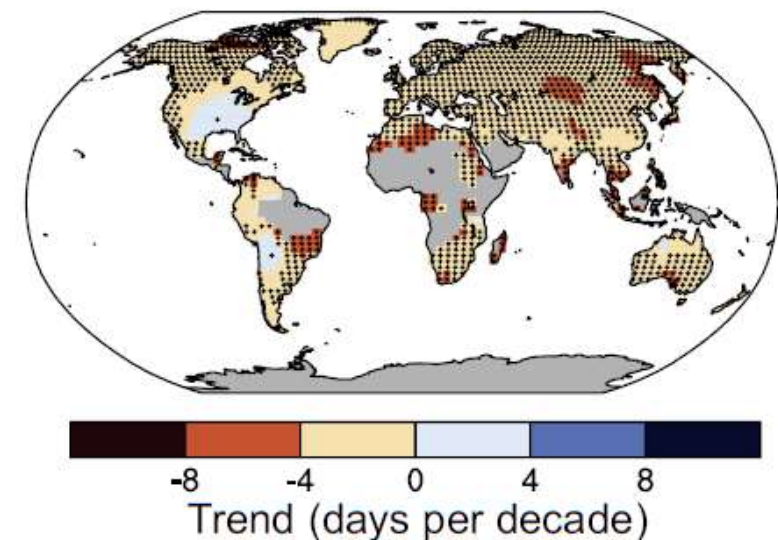
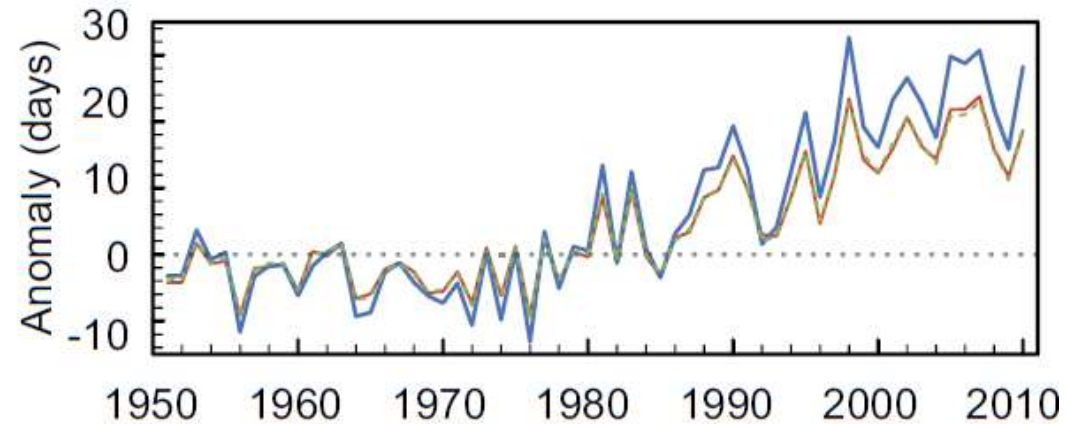
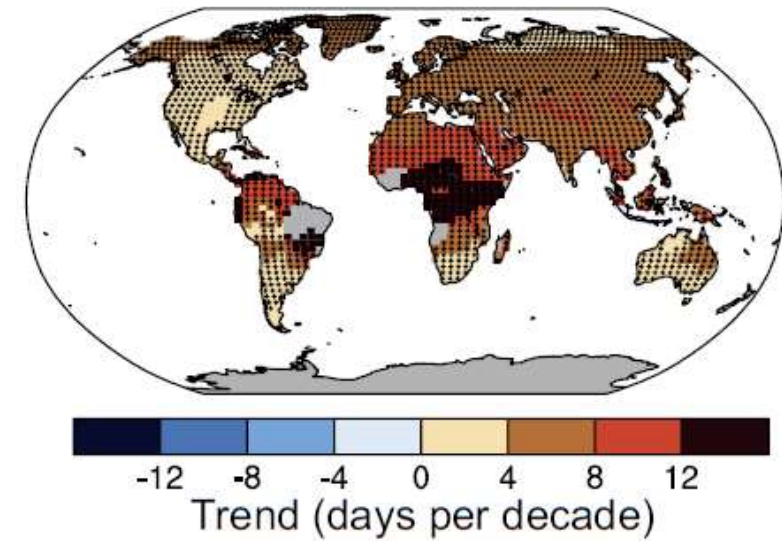


Figure 2.32 | Trends in annual frequency of extreme temperatures over the period 1951–2010, for (a) cold nights (TN10p), (b) cold days (TX10p), (c) warm nights (TN90p) and (d) warm days (TX90p) (Box 2.4, Table 1). Trends were calculated only for grid boxes that had at least 40 years of data during this period and where data ended no earlier than 2003. Grey areas indicate incomplete or missing data. Black plus signs (+) indicate grid boxes where trends are significant (i.e., a trend of zero lies outside the 90% confidence interval). The data source for trend maps is HadEX2 (Donat et al., 2013c) updated to include the latest version of the European Climate Assessment data set (Klok and Tank, 2009). Beside each map are the near-global time series of annual anomalies of these indices with respect to 1961–1990 for three global indices data sets: HadEX2 (red); HadGHCND (Caesar et al., 2006; blue) and updated to 2010 and GHCNDEX (Donat et al., 2013a; green). Global averages are only calculated using grid boxes where all three data sets have at least 90% of data over the time period. Trends are significant (i.e., a trend of zero lies outside the 90% confidence interval) for all the global indices shown.

(c) Warm Nights 日最低気温の高い日(日最低気温の高い方から10%)の現れ方



(d) Warm Days 日最高気温の高い日(日最高気温の高い方から10%)の現れ方

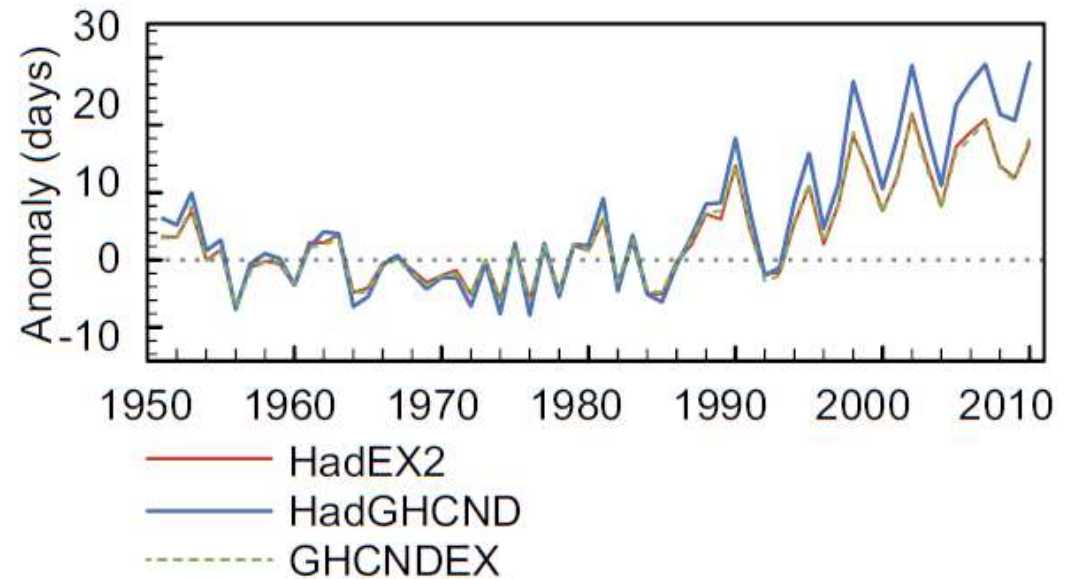
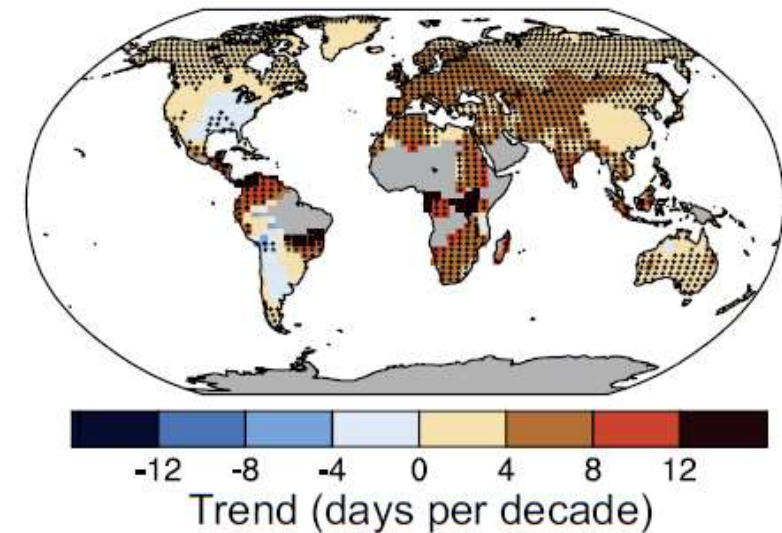


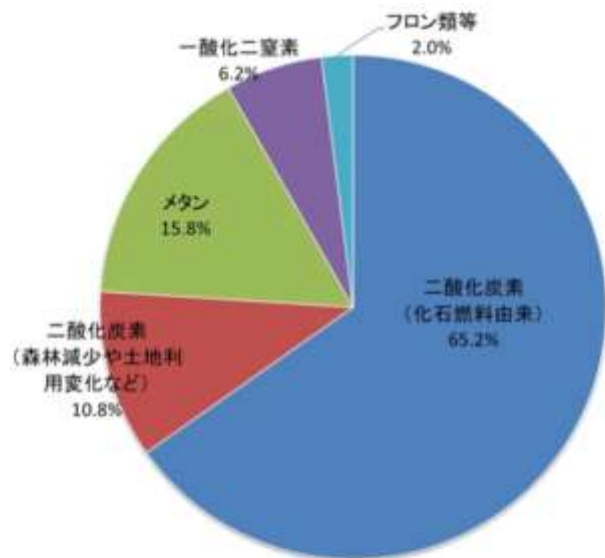
Figure 2.32 | Trends in annual frequency of extreme temperatures over the period 1951–2010, for (a) cold nights (TN10p), (b) cold days (TX10p), (c) warm nights (TN90p) and (d) warm days (TX90p) (Box 2.4, Table 1). Trends were calculated only for grid boxes that had at least 40 years of data during this period and where data ended no earlier than 2003. Grey areas indicate incomplete or missing data. Black plus signs (+) indicate grid boxes where trends are significant (i.e., a trend of zero lies outside the 90% confidence interval). The data source for trend maps is HadEX2 (Donat et al., 2013c) updated to include the latest version of the European Climate Assessment data set (Klok and Tank, 2009). Beside each map are the near-global time series of annual anomalies of these indices with respect to 1961–1990 for three global indices data sets: HadEX2 (red); HadGHCND (Caesar et al., 2006; blue) and updated to 2010 and GHCNDEX (Donat et al., 2013a; green). Global averages are only calculated using grid boxes where all three data sets have at least 90% of data over the time period. Trends are significant (i.e., a trend of zero lies outside the 90% confidence interval) for all the global indices shown.

温室効果とは？

温室効果ガスの特徴

国連気候変動枠組条約と京都議定書で取り扱われる温室効果ガス

温室効果ガス	地球温暖化係数*	性質	用途・排出源
CO₂ 二酸化炭素	1	代表的な温室効果ガス。	化石燃料の燃焼など。
CH₄ メタン	25	天然ガスの主成分で、常温で気体。よく燃える。	稲作、家畜の腸内発酵、廃棄物の埋め立てなど。
N₂O 一酸化二窒素	298	数ある窒素酸化物の中で最も安定した物質。他の窒素酸化物（例えば二酸化窒素）などのような害はない。	燃料の燃焼、工業プロセスなど。
HFCs ハイドロフルオロカーボン類	1,430など	塩素がなく、オゾン層を破壊しないフロン。強力な温室効果ガス。	スプレー、エアコンや冷蔵庫などの冷媒、化学物質の製造プロセス、建物の断熱材など。
PFCs パーフルオロカーボン類	7,390など	炭素とフッ素だけからなるフロン。強力な温室効果ガス。	半導体の製造プロセスなど。
SF₆ 六フッ化硫黄	22,800	硫黄とフッ素だけからなるフロンの仲間。強力な温室効果ガス。	電気の絶縁体など。
NF₃ 三フッ化窒素	17,200	窒素とフッ素だけからなるフロンの仲間。強力な温室効果ガス。	半導体の製造プロセスなど。



人為起源の温室効果ガスの総排出量に占めるガスの種類別の割合 (2010年の二酸化炭素換算量での数値：IPCC第5次評価報告書より作成)。

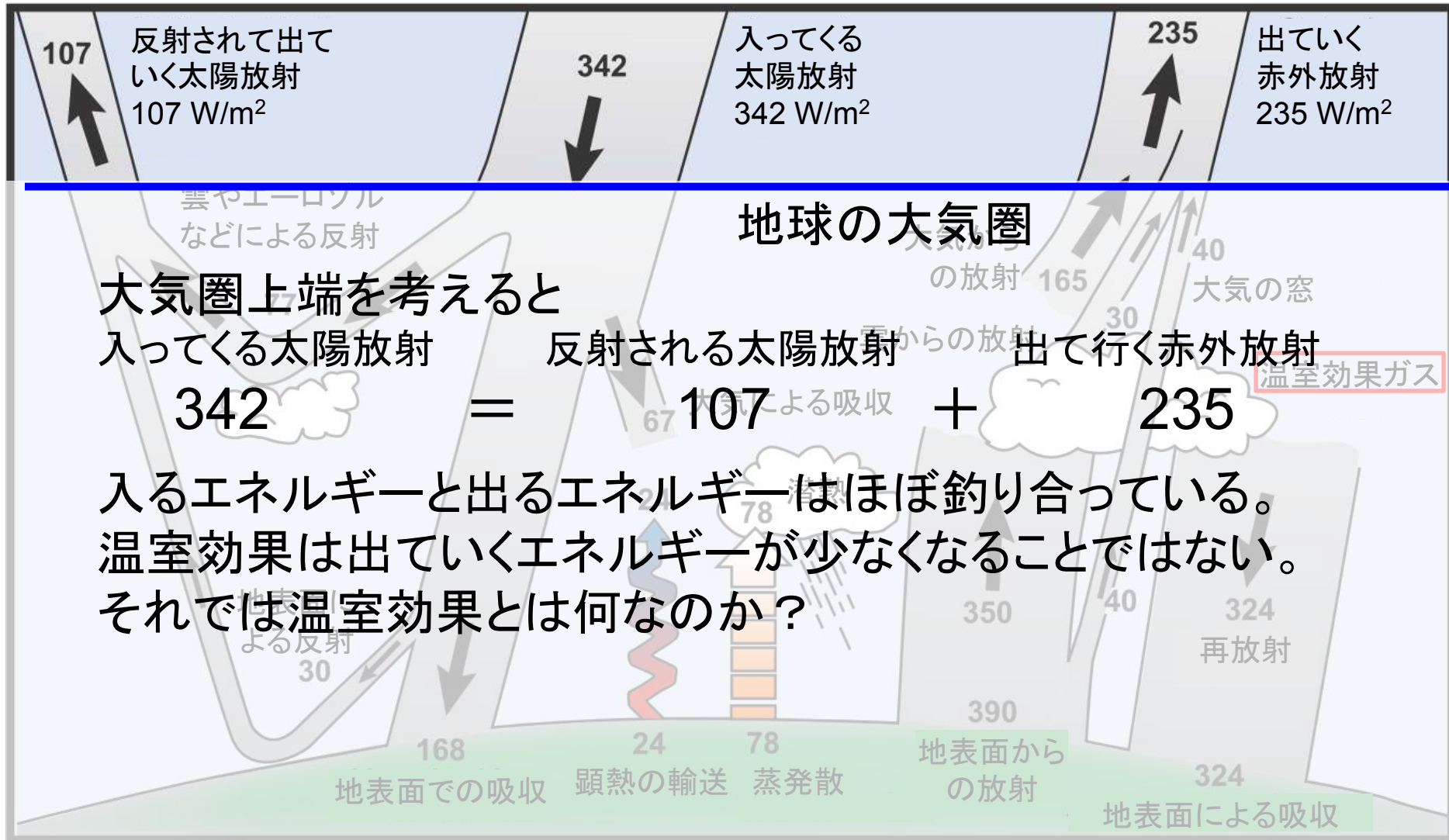
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p04.html (気象庁)

京都議定書第二約束期間における値

参考文献：3R-低炭素社会検定公式テキスト第2版、温室効果ガスインベントリオフィス

地球温暖化防止全国ネット http://www.jccca.org/chart/chart01_02.html

太陽からやってくるエネルギー(太陽放射)の行方と温室効果



大気圏上端を考えると

入ってくる太陽放射 = 反射される太陽放射 + 出て行く赤外放射

$$342 = 107 + 235$$

温室効果ガス

入るエネルギーと出るエネルギーはほぼ釣り合っている。
 温室効果は出ていくエネルギーが少なくなることではない。
 それでは温室効果とは何なのか？

IPCC (2007)

FAQ 1.1, Figure 1. Estimate of the Earth's annual and global mean energy balance. Over the long term, the amount of incoming solar radiation absorbed by the Earth and atmosphere is balanced by the Earth and atmosphere releasing the same amount of outgoing longwave radiation. About half of the incoming solar radiation is absorbed by the Earth's surface. This energy is transferred to the atmosphere by warming the air in contact with the surface (thermals), by evapotranspiration and by longwave radiation that is absorbed by clouds and greenhouse gases. The atmosphere in turn radiates longwave energy back to Earth as well as out to space. Source: Kiehl and Trenberth (1997).

温室効果ガスは、地表面から逃げる赤外線エネルギーを吸収し、地表(と宇宙)に向けて再放射する。このため地表面は差し引きで失うエネルギーが減り、温度が高くなる。温度が高くなると出ていくエネルギーは増えるがおつりも大きくなる。

Global Warming of 1.5°C

An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty



IPCC 1.5°C 特別報告書

Global Warming of 1.5 °C Summary for Policymakers <https://www.ipcc.ch/sr15/>

地球温暖化が2°Cではなく 1.5°Cに抑えられれば…

平均気温上昇, 極端な高温, 強い降水現象, 干ばつと降水不足

海面水位上昇, 海水温上昇, 海洋酸性度上昇, 海洋酸素濃度低下

生態系が受ける影響

健康, 生計, 食料安全保障, 水供給, 安全保障, 経済成長に対する気候関連リスク

などが 確信度中～高で低減

Cumulative emissions of CO₂ and future non-CO₂ radiative forcing determine the probability of limiting warming to 1.5°C

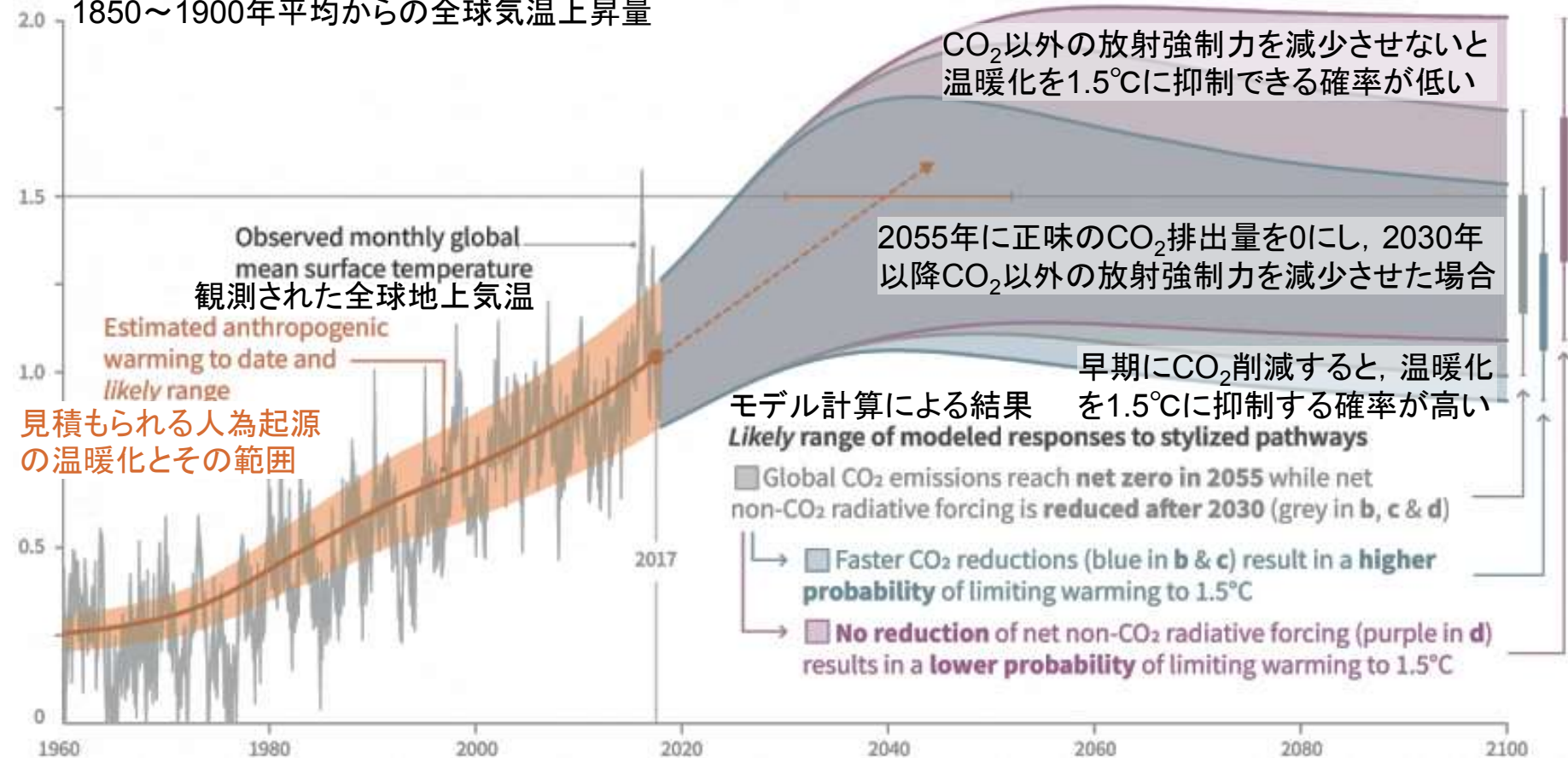
気温上昇を1.5°Cに抑えられる確率は、CO₂の累積排出量と将来のCO₂以外の放射強制力で決まる

a) Observed global temperature change and modeled responses to stylized anthropogenic emission and forcing pathways

Global warming relative to 1850-1900 (°C)

1850~1900年平均からの全球気温上昇量

観測による全球気温変化と、いくつかの人為的温室効果ガス排出量と放射強制力の変化を想定した気温のモデル計算



何十年も将来の気候をどうやって予測するのか？

数値シミュレーション(数値モデル)

CO₂排出量変化などの将来シナリオをもとにして、ずっと将来までの毎日の天気予報を行う。大気中の様々な気象のプロセス、大気と海洋や雪氷圏との相互作用などを計算する。

大気中の現象を支配する主な過程と相互作用

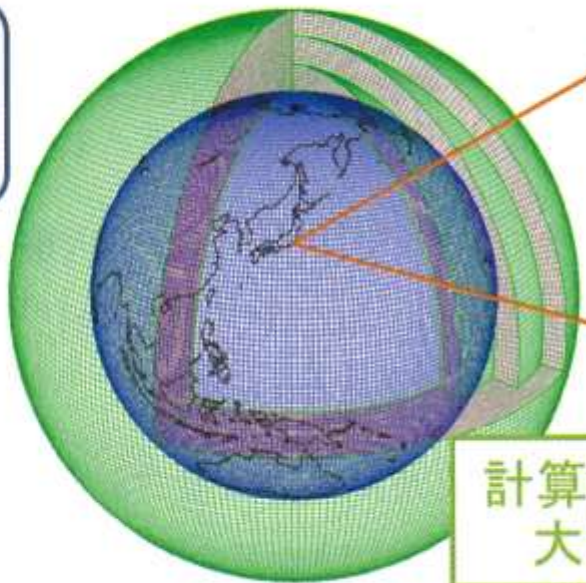


予測精度向上のためには、数値予報モデルにおいて、大気、海洋、陸地で発生する様々な過程を適切に扱う必要がある。これらの過程はお互いに影響を及ぼし合っているため、それぞれの過程自体を精度良く扱うだけでなく、それらの相互作用についても考慮する必要がある。

出典:気象庁「気象業務はいま2018」

数値予報のイメージ

地球大気・海面・陸地を細かい格子に分割



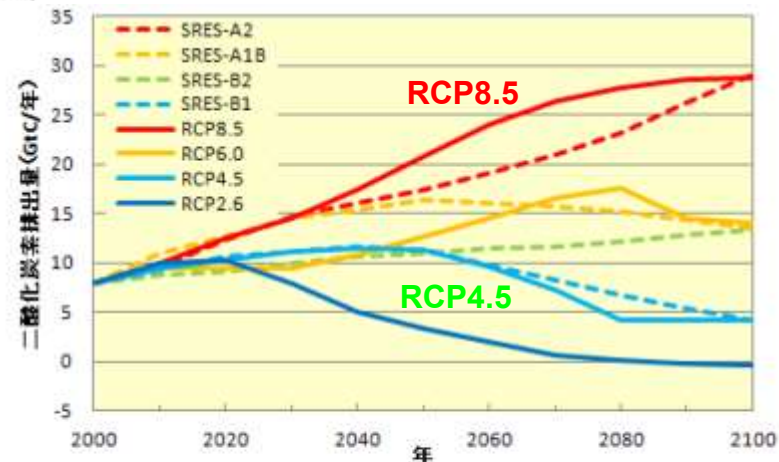
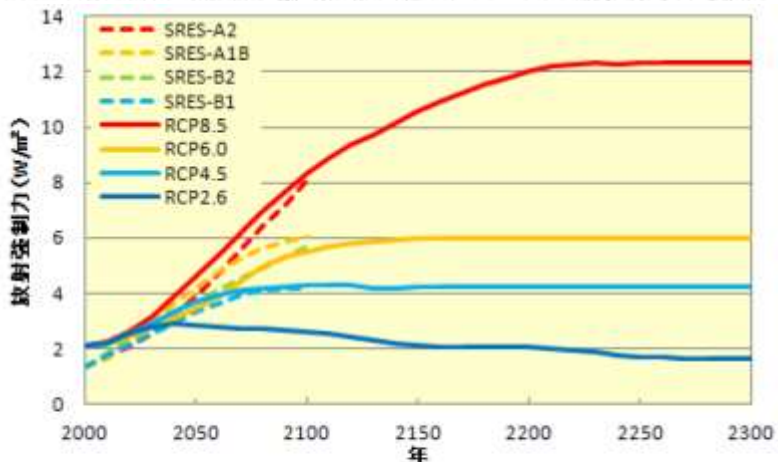
19.0	19.9	19.9	19.0	19.0	19.0	18.2	18.3	19.7
1018	1018	1019	1018	1018	1018	1020	1021	1020
18.8	18.7	18.9	19.0	19.1	19.0	18.5	18.5	18.9
1019	1018	1019	1017	1018	1018	1020	1020	1020
18.1	18.4	18.1	18.1	18.1	18.5	18.5	18.8	19.2
1018	1018	1018	1017	1018	1020	1020	1021	1020
18.9	19.0	19.0	18.9	18.8	18.5	18.8	19.2	19.5
1018	1019	1019	1017	1018	1021	1021	1020	1020
19.0	19.0	19.2	18.1	18.9	18.9	19.3	19.6	19.8
1018	1019	1019	1019	1020	1020	1020	1020	1020
19.1	19.3	19.2	19.2	19.2	19.4	19.7	19.8	20.0
1018	1020	1017	1019	1020	1020	1020	1020	1020
19.5	19.8	19.5	19.5	19.6	19.8	19.9	20.0	20.0
1020	1020	1020	1021	1020	1020	1020	1020	1020

観測データを基に、格子毎にある時刻の気象要素などの値を割り当て、物理学や化学の法則に基づいて時間変化を計算

計算機上に仮想の地球大気を作るイメージ

数値予報モデルでは、地球大気や海洋・陸地を細かい格子に分割し、観測データを基に、格子毎にある時刻の気象要素などの値を割り当て、物理学や化学の法則に基づいて時間変化を計算する。
出典:気象庁「気象業務はいま2018」

シナリオについて



RCP: Representative Concentration Pathways

図 A1-1 SRES シナリオと RCP シナリオに基づく放射強制力 (左) と二酸化炭素排出量 (右)

RCP シナリオを実線で、SRES シナリオを破線で示す。出典:気象庁「地球温暖化予測情報 第9巻」

地球温暖化研究 に参加している 世界の数値モデル

IPCC: Evaluation of Climate Models

CMIP: Coupled Model Intercomparison Project
各国の様々な(大気海洋)結合モデルの計算結果を研究者が相互利用し、解析を行う国際的なプロジェクト

Model name		AOGCM				FC	ESM			
		Atmos	Land Surface	Ocean	Sea-Ice		Aerosol	Atmos Chem	Land Carbon	Ocean BGC
ACCESS1.0, ACCESS1.3	Australia									
BCC-CSM1.1, BCC-CSM1.1(m)	China									
BNU-ESM	China									
CanCM4	Canada									
CanESM2	Canada									
CCSM4										
CESM1 (BGC)										
CESM1 (WACCM)	USA	HT								
CESM1 (FASTCHEM)										
CESM1 (CAM5)										
CESM1 (CAM5.1-FV2)	USA									
CMCC-CM, CMCC-CMS	Italy	HT								
CMCC-CESM	Italy	HT								
CNRM-CM5	France									
CSIRO-Mk3.6.0	Australia									
EC-EARTH	Europe									
FGOALS-g2	China									
FGOALS-s2	China									
FIO-ESM v1.0	China									
GFDL-ESM2M, GFDL-ESM2G										
GFDL-CM2.1	USA									
GFDL-CM3		HT								
GISS-E2-R, GISS-E2-H	USA	HT				<i>p2, p3*</i>	<i>p2, p3*</i>			
GISS-E2-R-CC, GISS-E2-H-CC	USA	HT				<i>p2, p3*</i>	<i>p2, p3*</i>			
HadGEM2-ES										
HadGEM2-CC	UK	HT								
HadCM3										
HadGEM2-AO	Korea									
INM-CM4	Russia									
IPSL-CM5A-LR / -CM5A-MR / -CM5B-LR	France	HT								
MIROC4h, MIROC5		HT								
MIROC-ESM	Japan	HT								
MIROC-ESM-CHEM		HT								
MPI-ESM-LR / -ESM-MR / -ESM-P	Germany	HT								
MRI-ESM1	Japan	HT								
MRI-CGCM3		HT								
NCEP-CFSv2	USA									
NorESM1-M	Norway									
NorESM1-ME										
GFDL-HIRAM C180 / -HIRAM C360	USA									
MRI-AGCM3.2S / -AGCM3.2H	Japan									

CMIP5

AMIP

日本における2076～2095年の平均気温と1980～1999年の平均気温との差

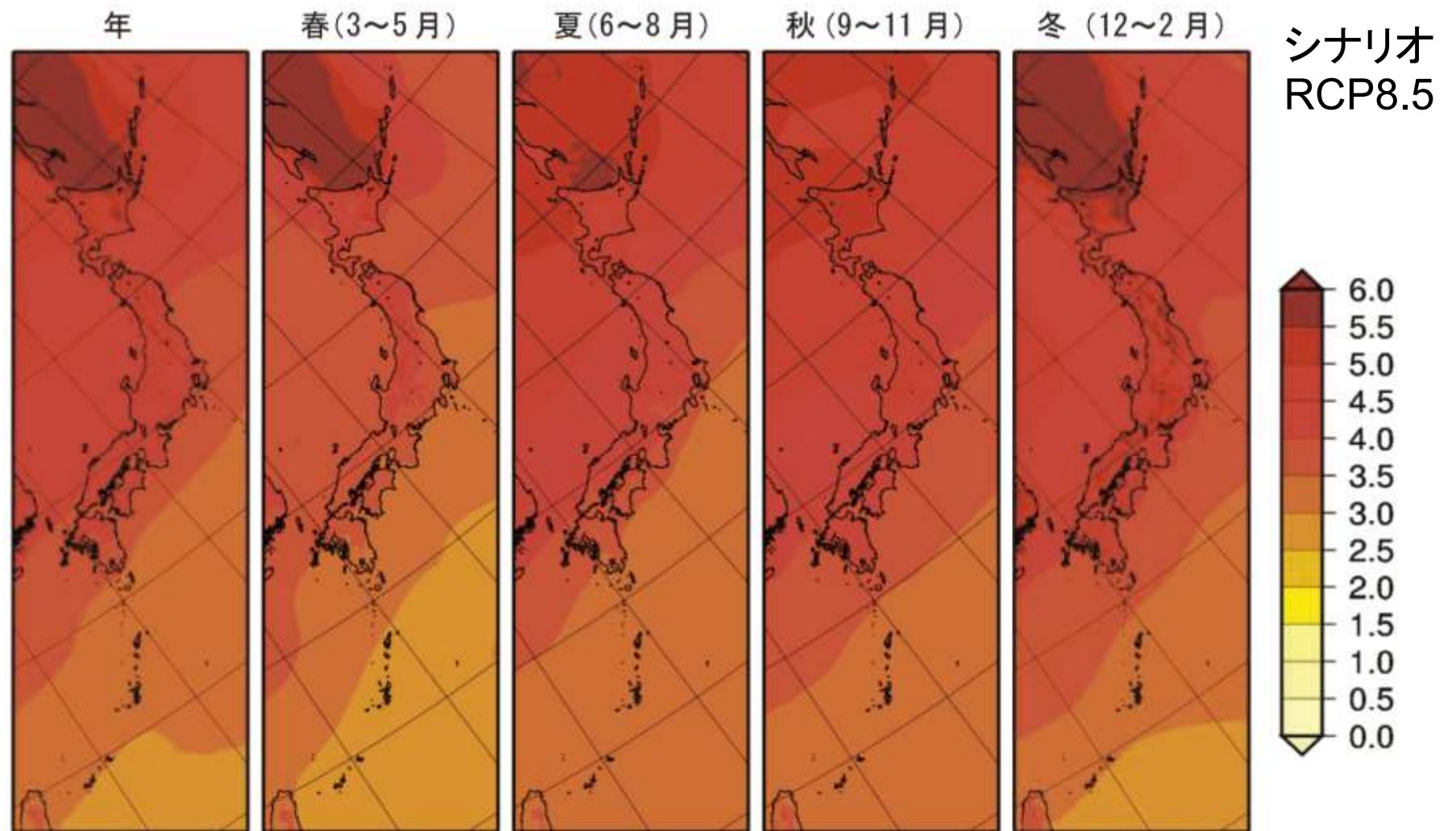


図 2.1-1 年及び季節ごとの平均気温の将来変化 (単位: °C) 出典: 気象庁「地球温暖化予測情報 第9巻」
将来気候と現在気候との差。4メンバーの平均。

- ・平均気温は4～5°Cの上昇(北ほど大きい)で、全球平均(3.7°C)より大
- ・現在はその季節としてほとんど現れないような気温が平均的な状態に

日本における2076～2095年の降水量と1980～1999年の降水量との差

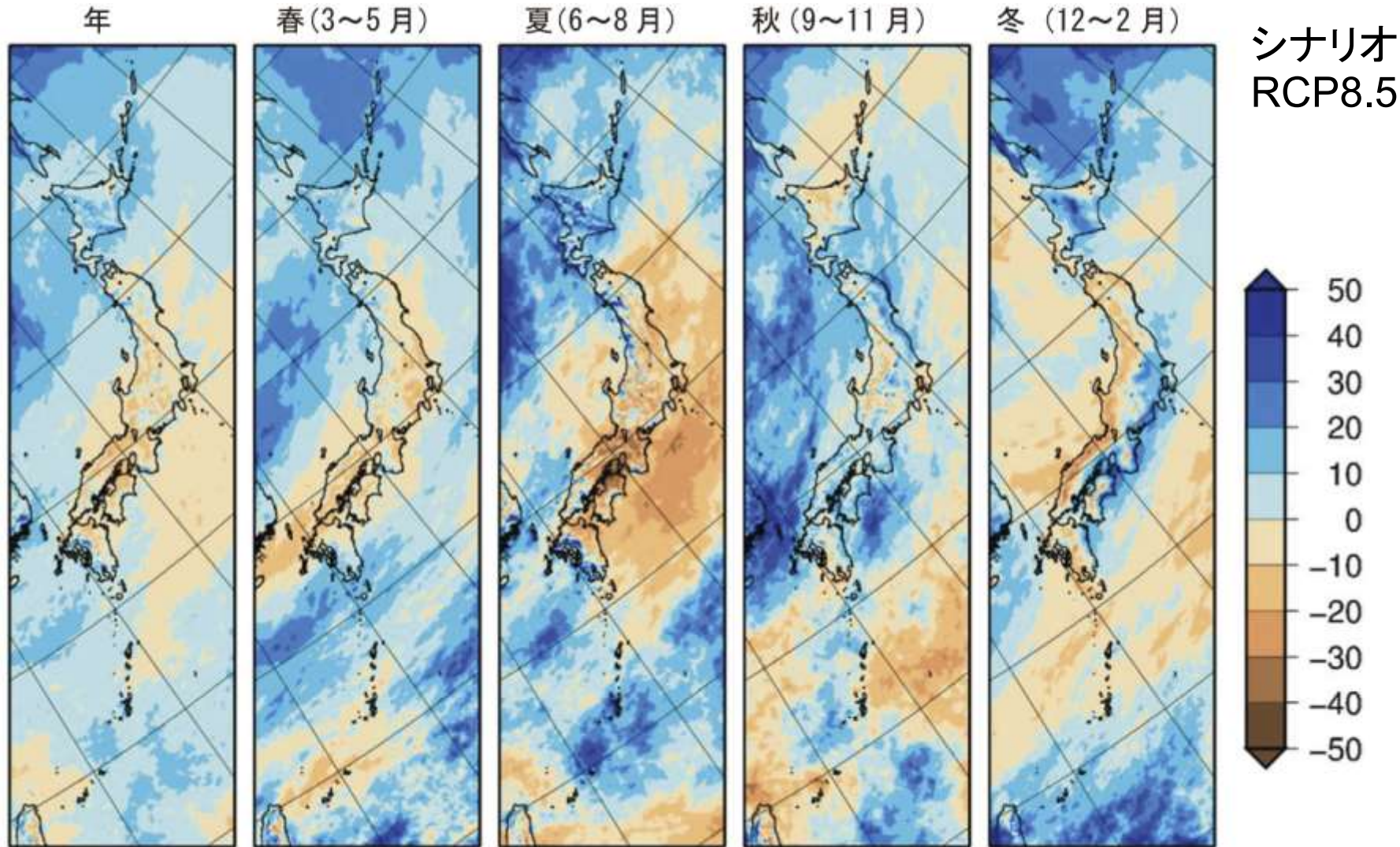


図 3.1-1 年降水量や季節ごとの3か月降水量の将来変化(単位:%) 出典:気象庁「地球温暖化予測情報 第9巻」
現在気候に対する変化率で示す。4メンバーの平均。

- ・モデルによるばらつきが大きく、不確実性が高い(降水の予測は難しい)
- ・梅雨入りが遅くなり、干ばつのリスクが高まる可能性が指摘



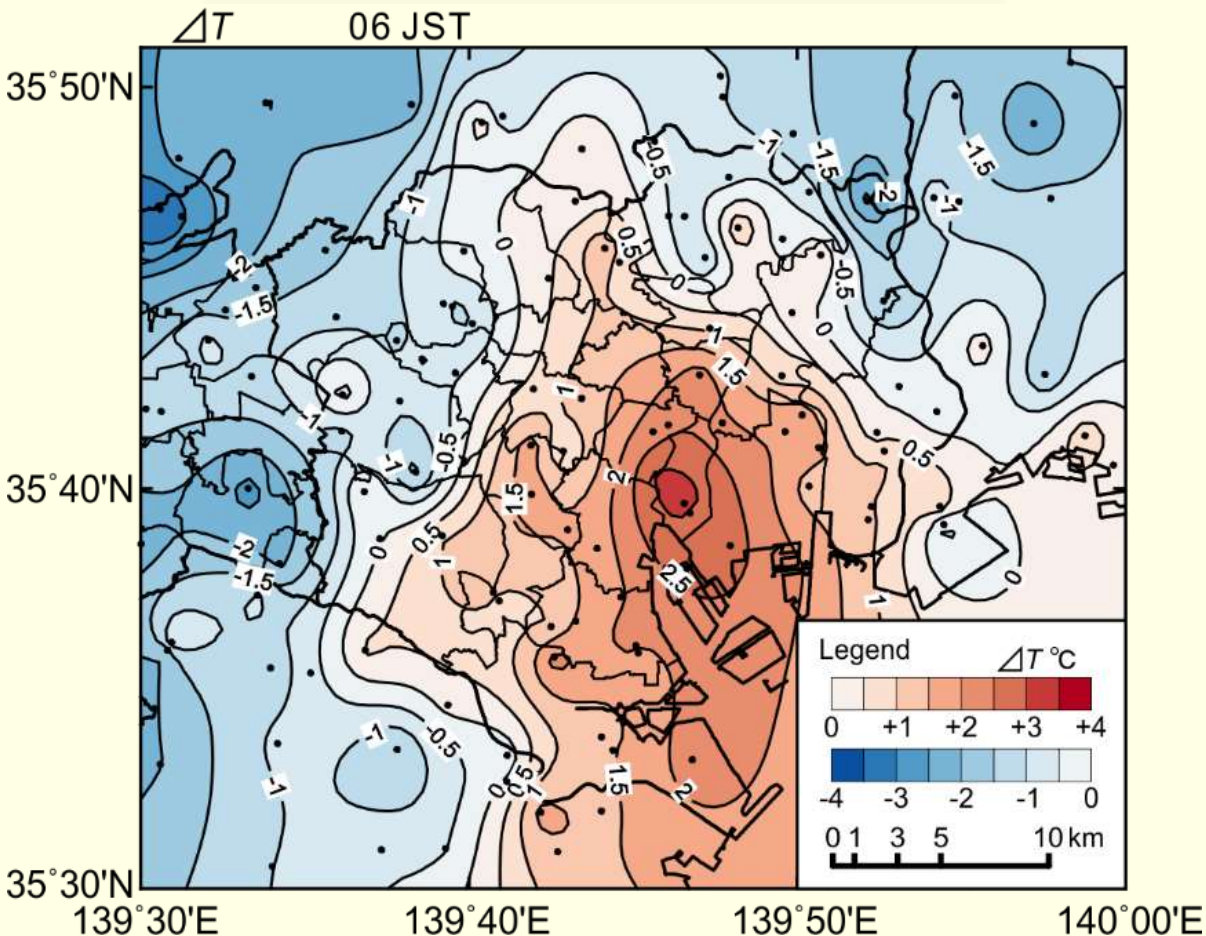
2. 都市ヒートアイランド

- ◎ヒートアイランドと観測網の概要
- ◎冬季夜間の気温分布（構造の把握）
- ◎夏季日中の気温分布（海風との関係）

都市を中心とした高温＝都市ヒートアイランド現象

等温線が島のように見える ⇒ Heat Island 熱の島

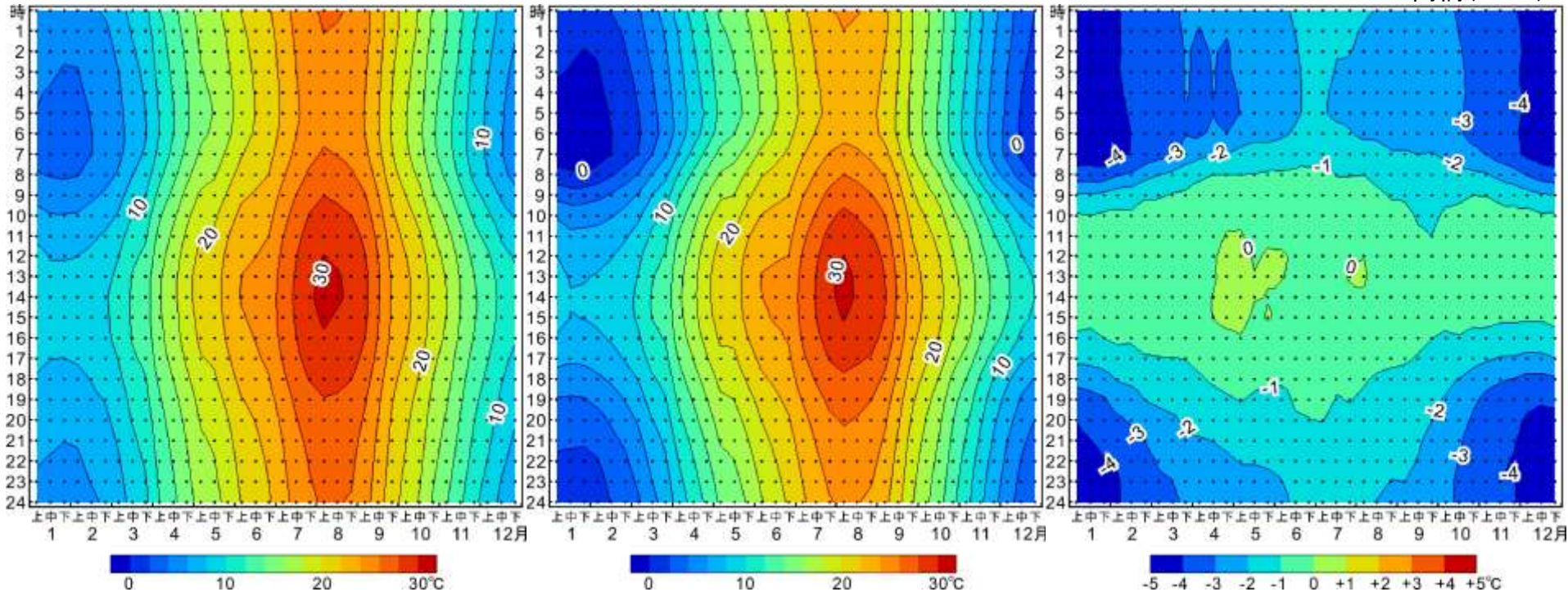
広域METROS: 首都大をはじめ、
複数の大学で運営している気象観測網



冬季晴天弱風日早朝における東京の典型的な気温分布(25事例の平均)
全体の平均気温からの偏差で表現, 等温線は0.5°C間隔(高橋ほか 2014)

ヒートアイランド現象が顕著に現れるのはいつ？

高橋(2014)



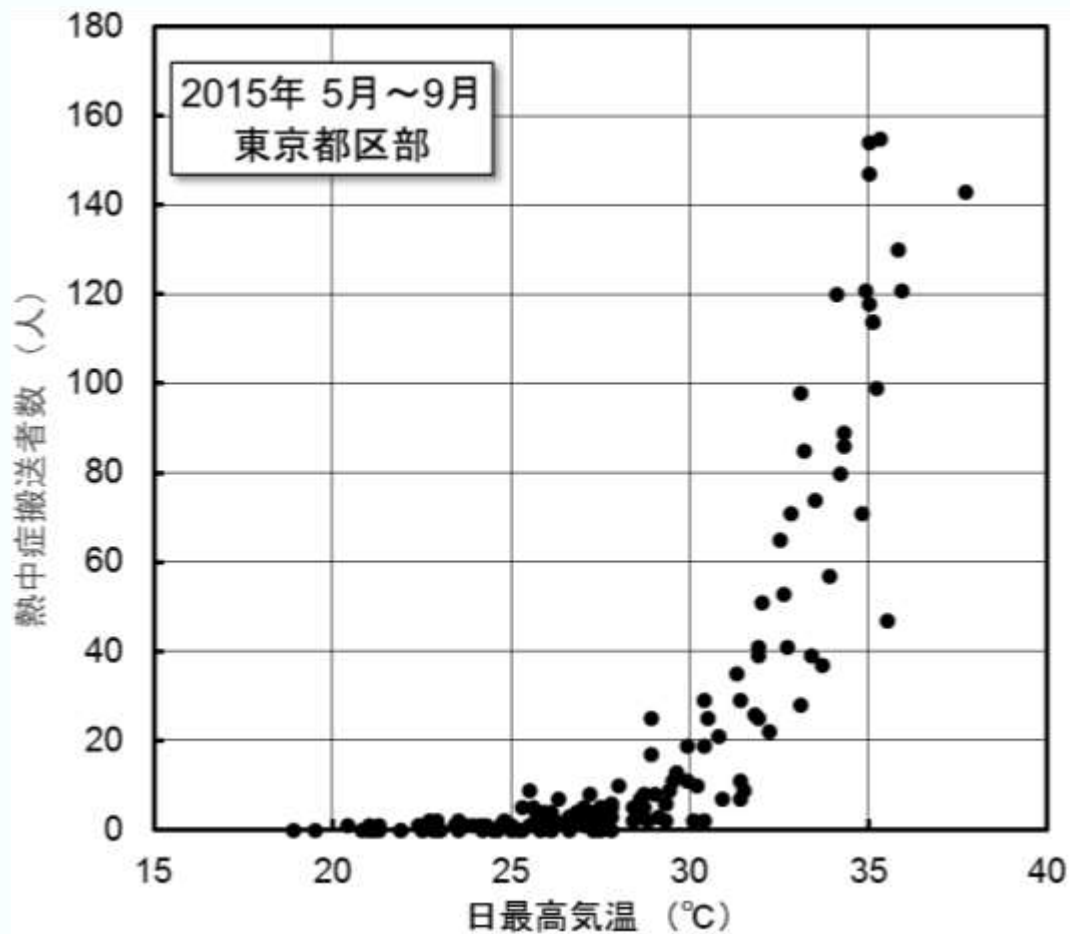
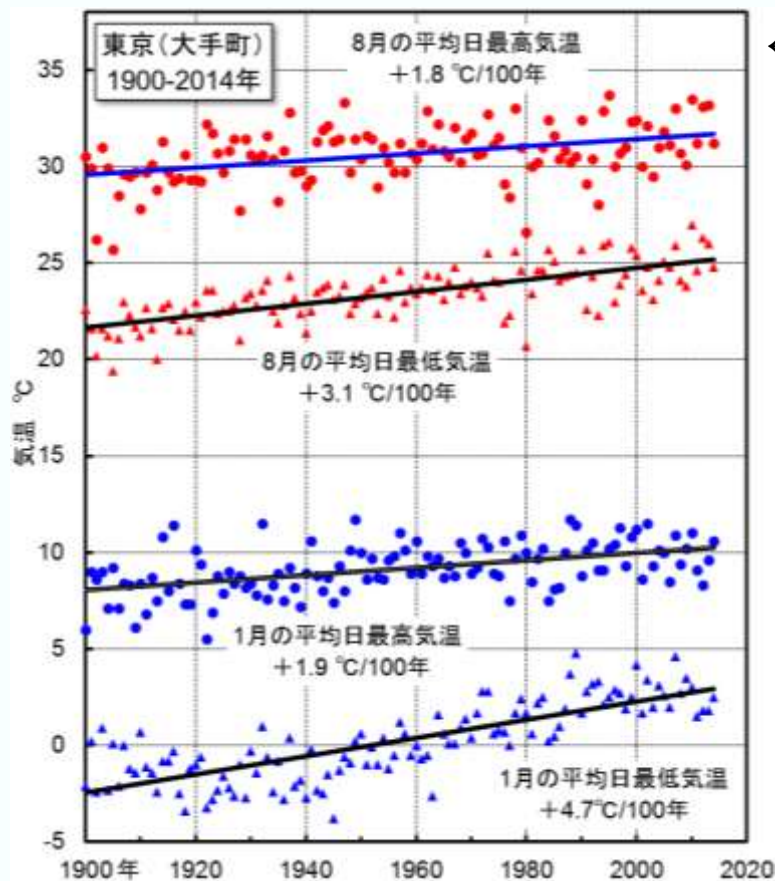
東京(大手町)における
気温の日変化(縦軸方向)
と季節変化(横軸方向)

八王子における
気温の日変化(縦軸方向)
と季節変化(横軸方向)

両者の差:八王子－大手町
日中はほとんど差がない
冬季の夜間～早朝は
4°C以上大手町が高温

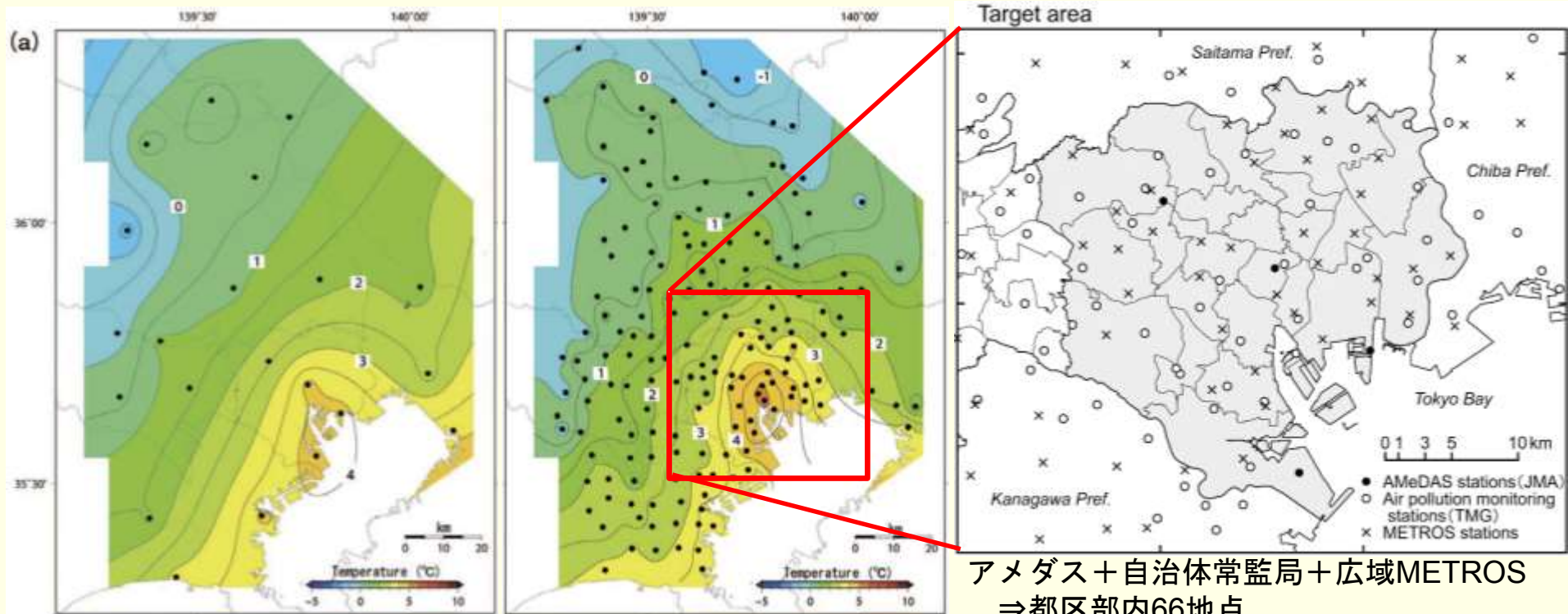
都心の高温は冬季の夜間～早朝に顕著

←1月と8月の平均日最低・最高気温の経年変化傾向(東京)

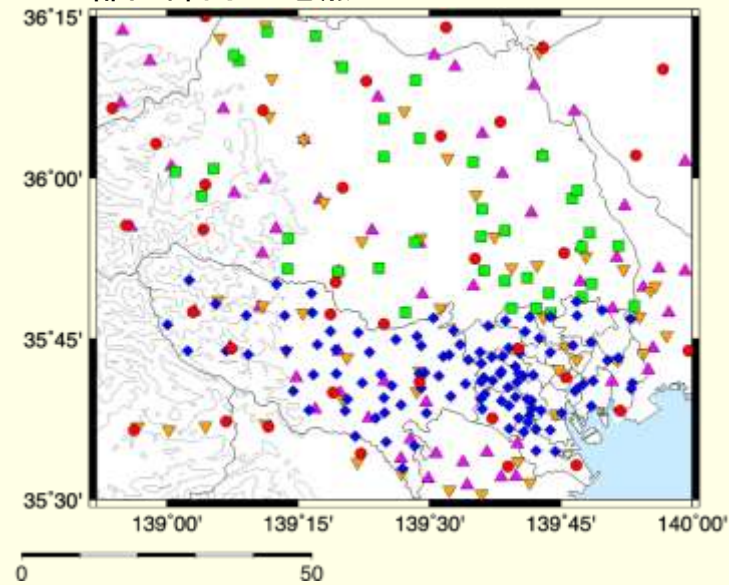


2015年5月から9月の東京都区部における日々の熱中症搬送者数と日最高気温との関係
国立環境研究所熱中症患者速報の資料による。
<https://www.nies.go.jp/health/HeatStroke/spot/maps.html>

観測地点の分布密度



アメダス+自治体常監局+広域METROS
⇒都区部内66地点



冬季（12～2月）の日平均最低気温分布: (a) AMeDASによる等温線図, (b) 広域METROSによる等温線図, 2006年12月～2007年2月および2007年12月～2008年2月の2年間の平均(単位:℃).

冬季の平均日最低気温分布(大和ほか 2011)

気象庁アメダス

広域METROS

⇒都区部内4地点

⇒都区部内34地点

広域METROS: 小学校の百葉箱で観測

(首都圏の大学で共同運営)

大気汚染常時監視測定局(常監局)

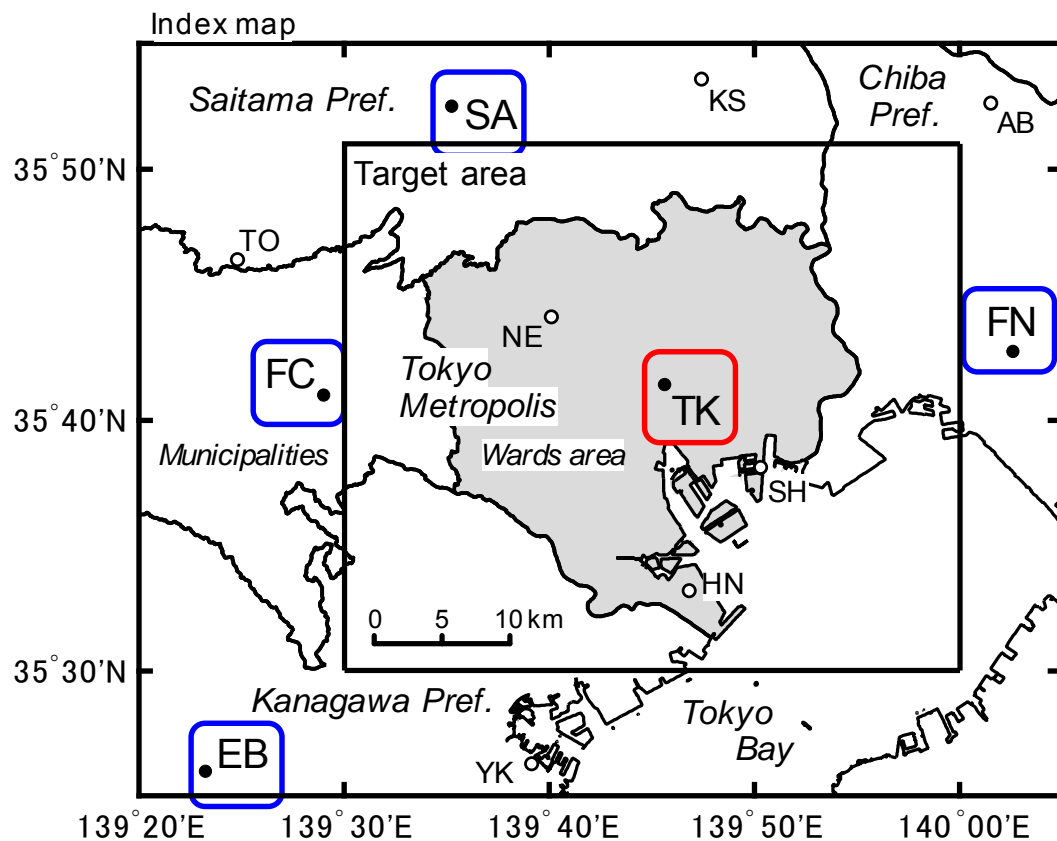
(東京都などの自治体が観測)

降水量の観測点分布(合計290地点)

● AMeDAS・気象官署(35地点) ▲ 国土交通省(59地点)

▼ JR東日本(49地点) ◆ 東京都(109地点) ■ 埼玉県(38地点)

東京都区部を中心とした冬季夜間の気温分布



東京都区部の典型的な 気温分布を捉える(冬)

※晴天弱風の冬季夜間

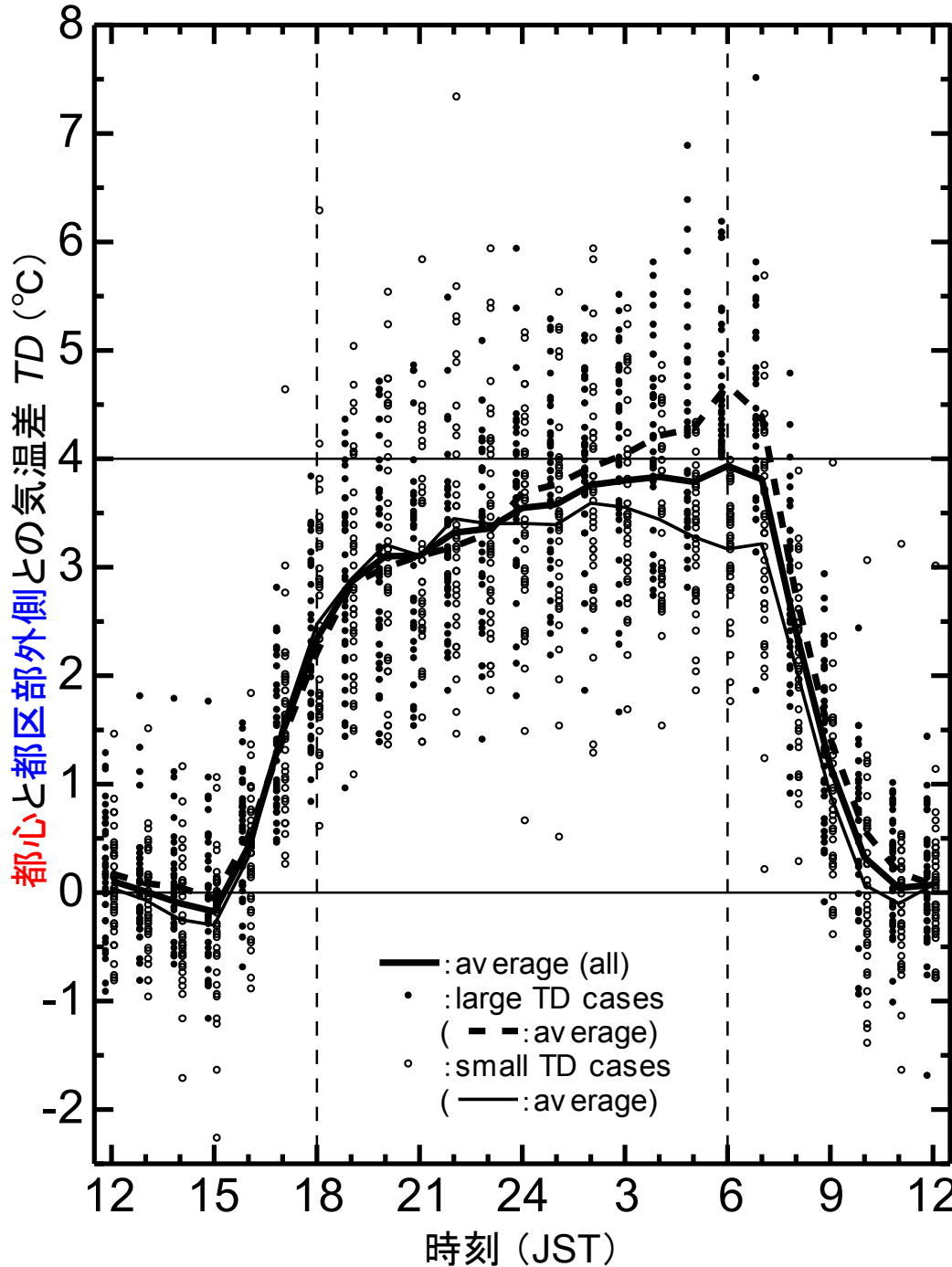
→夜間雲量2以下, 夜間風速3m/s以下

- ①都心と都区部外側との気温差
- ②都区部の気温分布の特徴
 - ・高温の中心と気温急変域

対象期間

2006/07~2009/10年の11から2月

高橋ほか(2014)による



都心と都区部外側との 気温差(冬)

気温差(ヒートアイランド強度)の日変化

日中(10~16時)はほとんど気温差なし

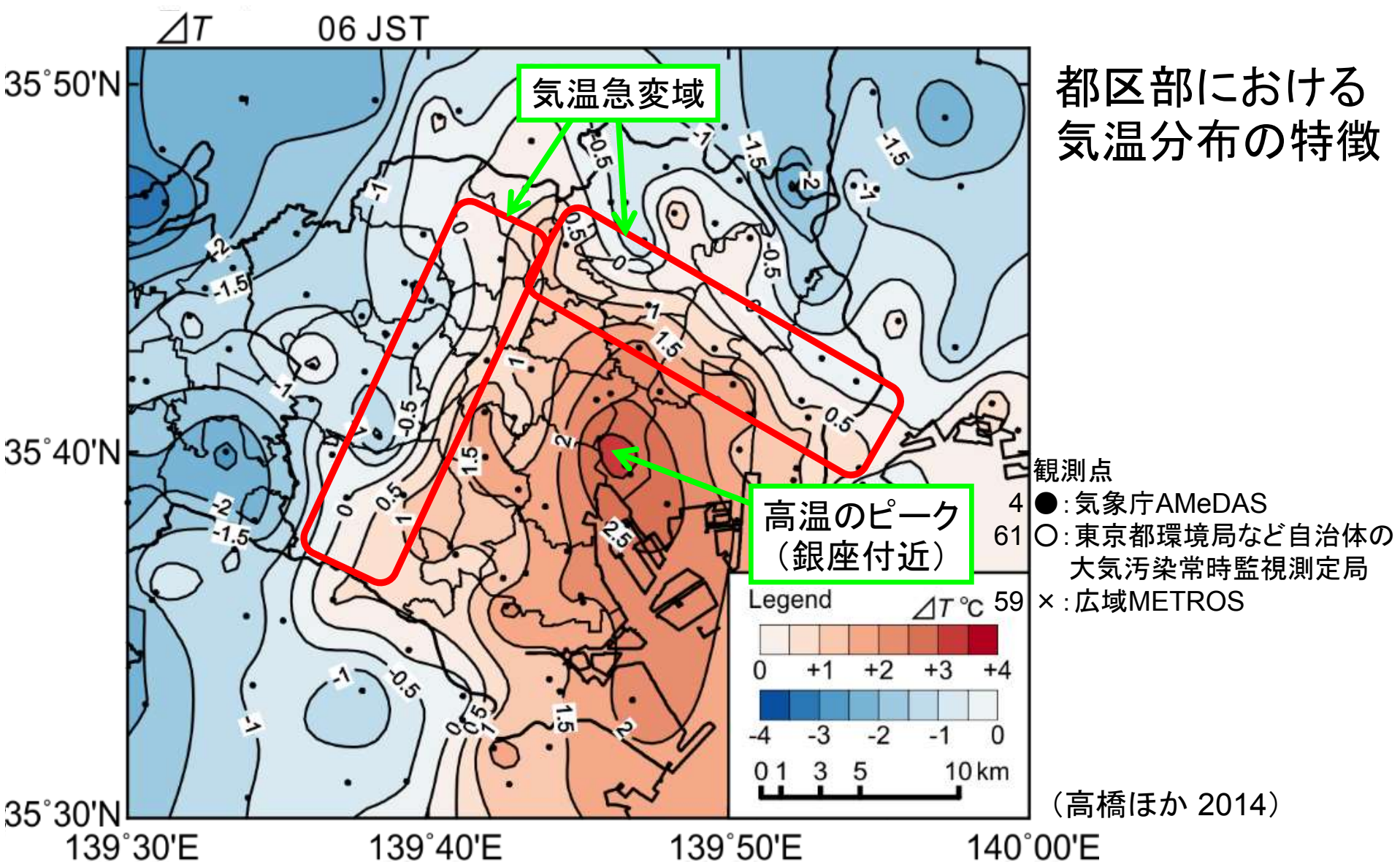
日の入り前後の3~4時間で気温差が急増

その後、気温差は緩やかに増加するが、06時に気温差が小さい場合には、夜半過ぎから気温差は減少傾向

日の出後は急速に気温差が減少

晴天弱風の夜間(夜間雲量2以下、夜間風速2m/s以下)における気温差の時間変化

太実線は全体(73事例)の平均、太破線は06時の気温差が4°C以上(●:37事例)、細線は4°C未満(○:36事例)



Wards area
CH: Chiyoda
SU: Sumida
SB: Shibuya
IT: Itabashi

CU: Chuo
KO: Koto
NA: Nakano
NE: Nerima

MI: Minato
SN: Shinagawa
SG: Suginami
AD: Adachi

SH: Shinjuku
ME: Meguro
TS: Toshima
KA: Katsushika

BU: Bunkyo
OT: Ota
KI: Kita
ED: Edogawa

TA: Taito
SE: Setagaya
AR: Arakawa

Municipalities
MS: Musashino
KM: Komae

MT: Mitaka
KY: Kiyose

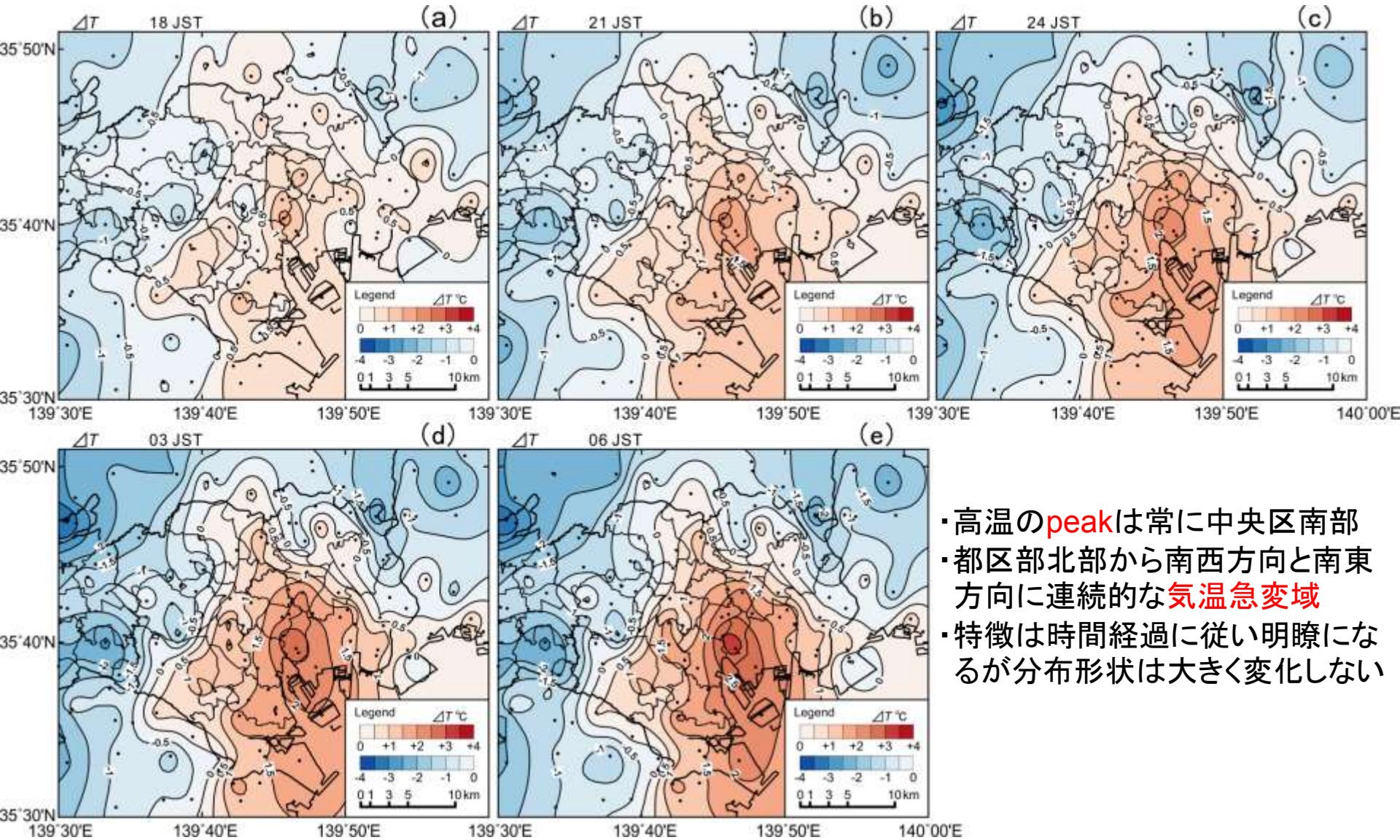
FC: Fuchu
HG: Higashikurume

CF: Chofu
IN: Inagi

KG: Koganei
NT: Nishitokyo

KD: Kodaira

晴天弱風の冬季夜間(夜間雲量2以下, 夜間風速3m/s以下)における気温分布



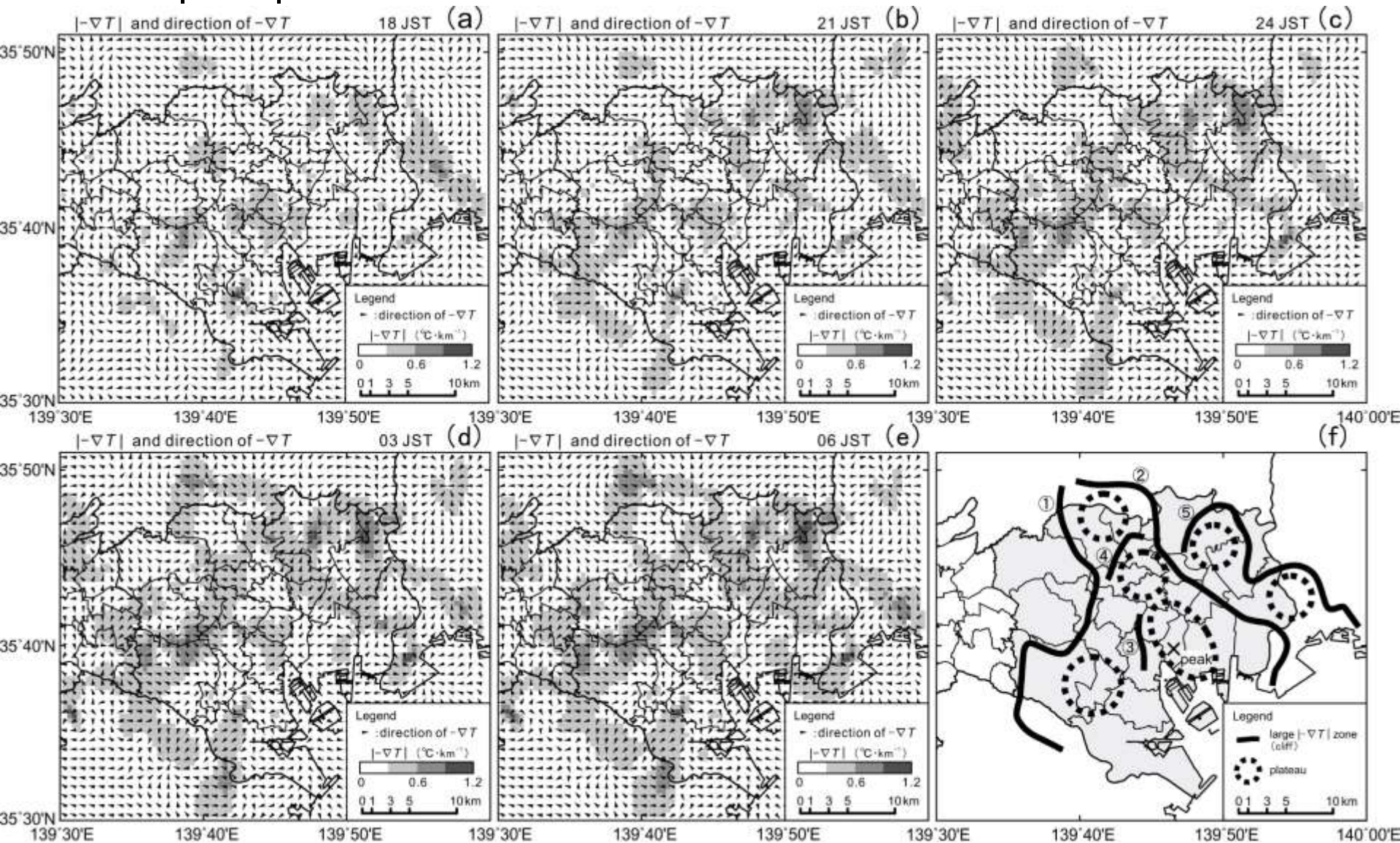
- ・高温のpeakは常に中央区南部
- ・都区部北部から南西方向と南東方向に連続的な**気温急変域**
- ・特徴は時間経過に従い明瞭になるが分布形状は大きく変化しない

等温線は0.5°C間隔

領域平均気温からの偏差による気温分布(25事例の平均, 18時から3時間ごと)

- 気温急変域:** 埼玉県南部から, ①練馬区と板橋区の境界付近, 豊島区・新宿区を経て南西方向に世田谷区西部
 ②北区・足立区や荒川区・台東区・墨田区を経て南東方向に江戸川区中央部
 ③千代田区東部から港区, ④豊島区から板橋区南部, ⑤足立区や葛飾区を経て江戸川区北部から千葉県東京湾岸

気温傾度 $|\nabla T|$ ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)の大きさ(濃淡)と方向(矢印)(25事例の合成図, 18時から3時間ごと)



気温急変域(外側に向かう気温傾度の極大帯): (f) 模式図

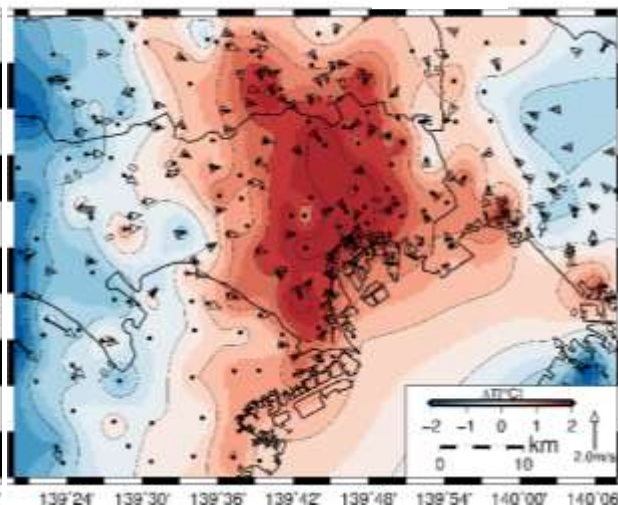
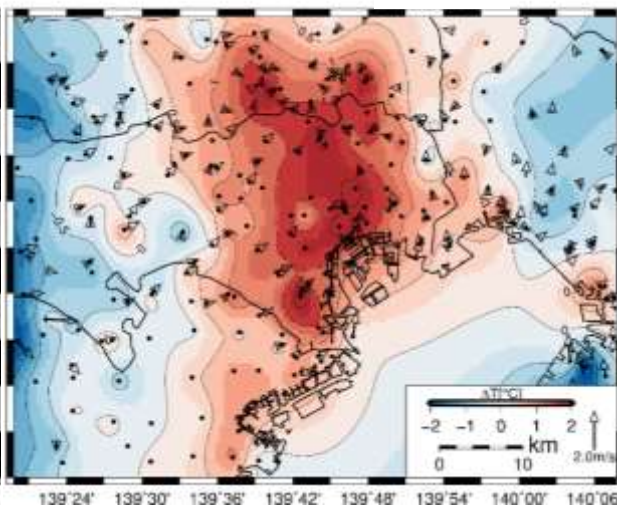
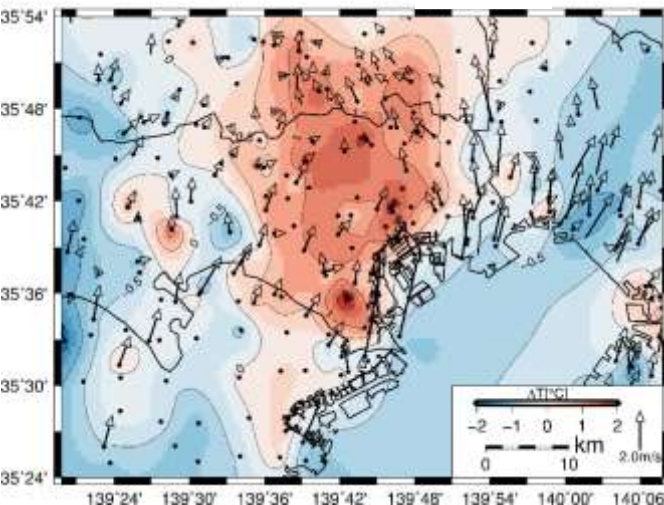
- ・18時, 21時に散在している気温急変域(低温域都心側)を結んで網状に発達(位置の時間変化はない)
- ・都区部北側から南西方向と南東方向に連なる連続的な気温急変域と, 付随する複数の気温急変域
- ・高温のpeakを囲む気温急変域は, 気温傾度の小さい高原状の高温域(plateau)を挟んで多重構造

晴天弱風の夏季夜間における気温分布

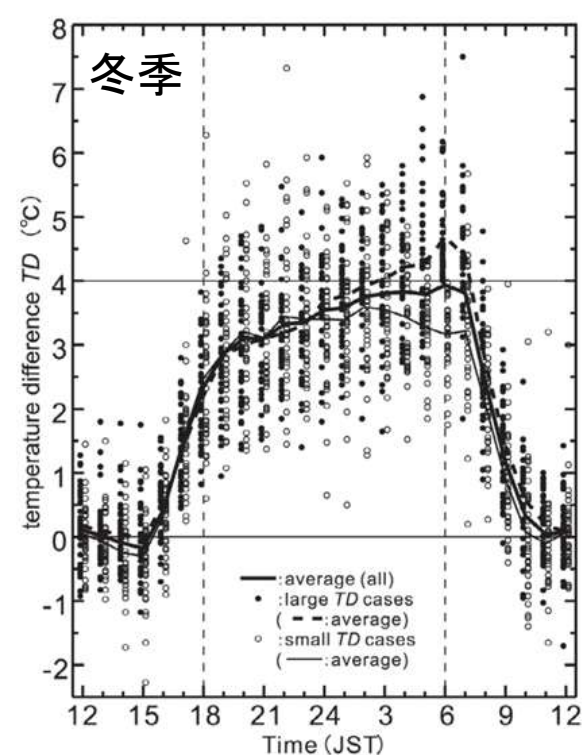
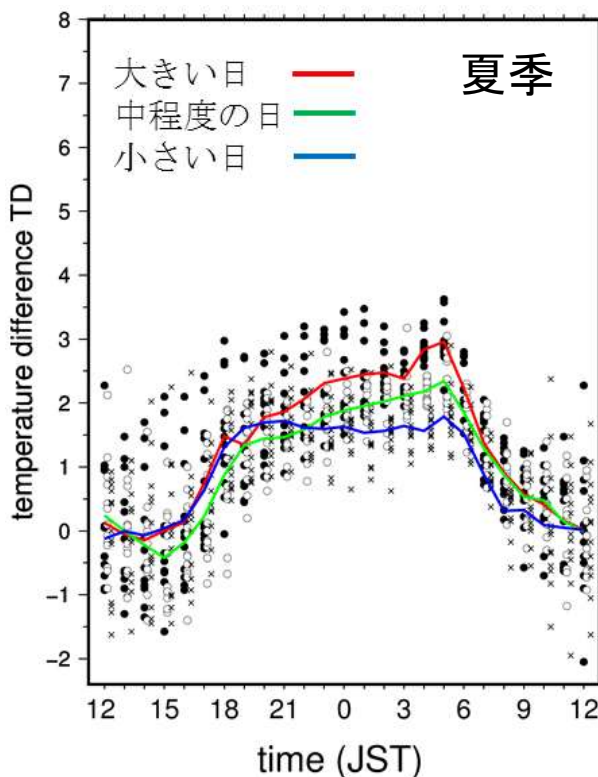
18 JST

00 JST

04 JST



- ・高温のpeakははっきりしない
- ・都心と都区部外側との気温差は2°C程度
- ・気温急変域は不明瞭



ヒートアイランド現象の原因 (環境省 ヒートアイランド対策ガイドライン平成24年度版)

- (1) 人工排熱の増加
商業業務施設,
自動車 など



- (2) 表面被覆の人工化
1) 不透水面
気化熱が奪われない
2) 蓄熱の増大



建物や道路の表面温度が高くなり、空気を暖める

蒸散により、表面温度は高くない



蓄熱した建物や道路が空気を暖める

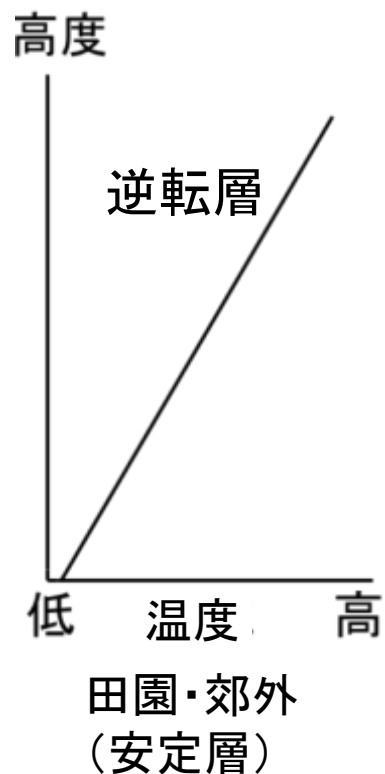
放射冷却により表面温度が下がり、空気を冷やす

- (3) 都市形態の高密度化
1) 風通しの障害
熱が逃げにくくなる
2) 天空率の低下
赤外放射損失の減少
⇒放射冷却が効きにくい



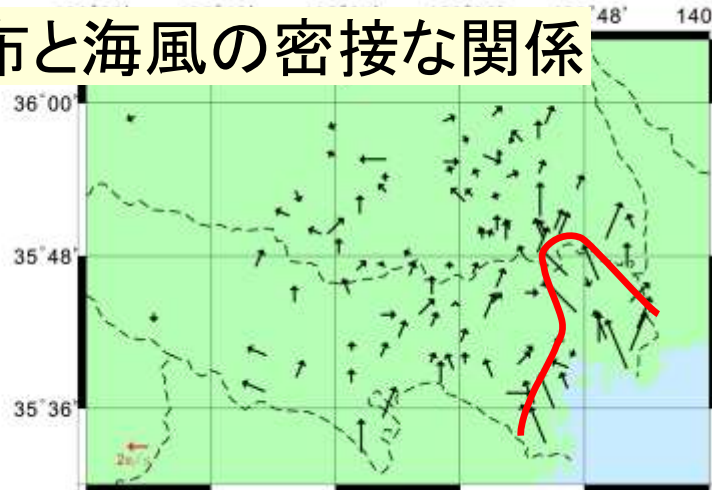
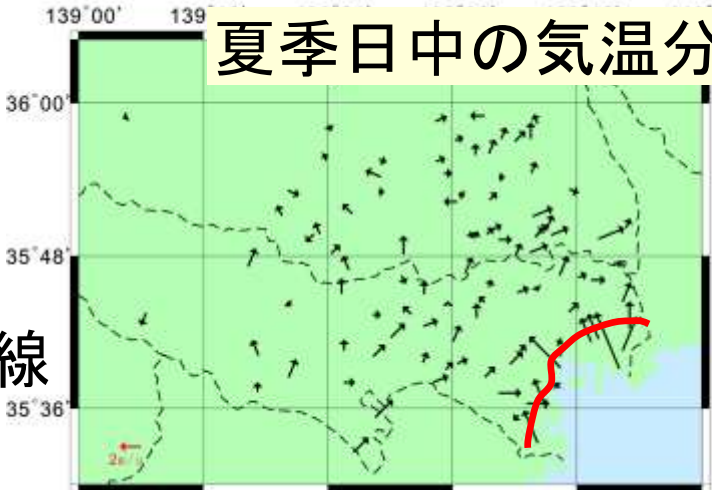
気温の鉛直構造を考える

- ① 夜間，田園地域では放射冷却により地面が冷えるので，空気は下層から冷やされ**逆転層**が形成される。
- ② **逆転を伴った気層が都市域へ移流しつつ加熱や鉛直混合を受けると…**



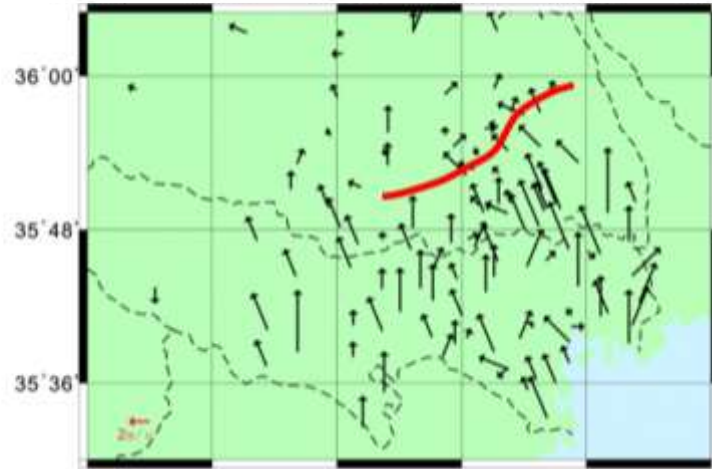
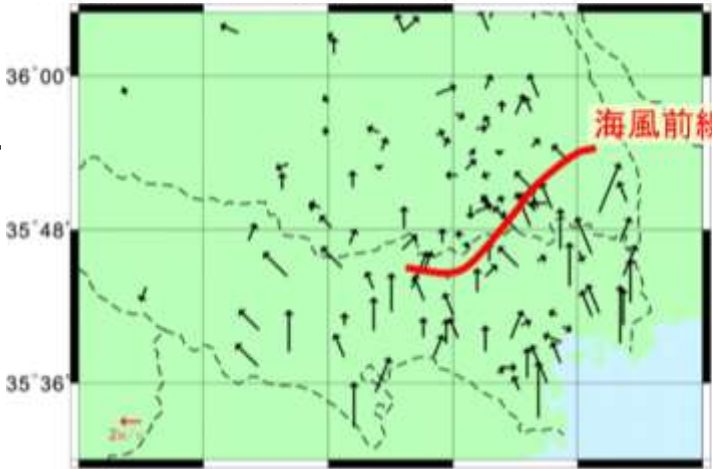
夏季日中の気温分布と海風の密接な関係

Aug. 24,
2010
10 JST

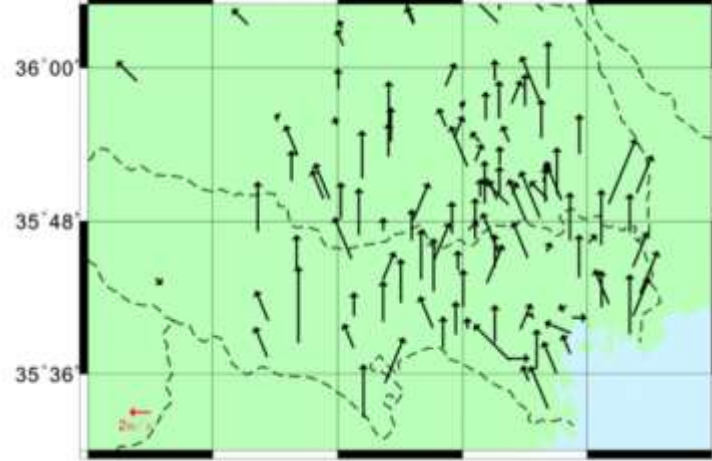
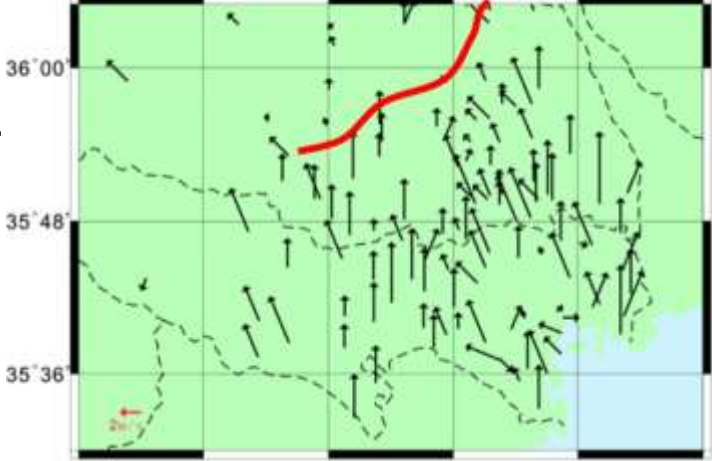


11 JST

海風と
海風前線
の進入



13 JST



15 JST

12 JST

14 JST

気温分布と海風の密接な関係

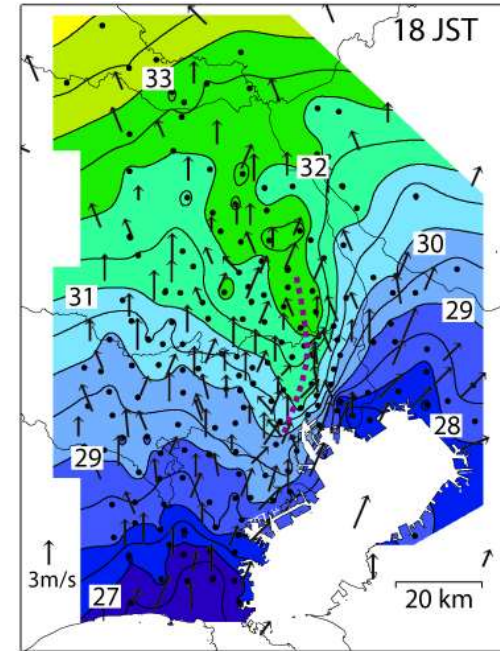
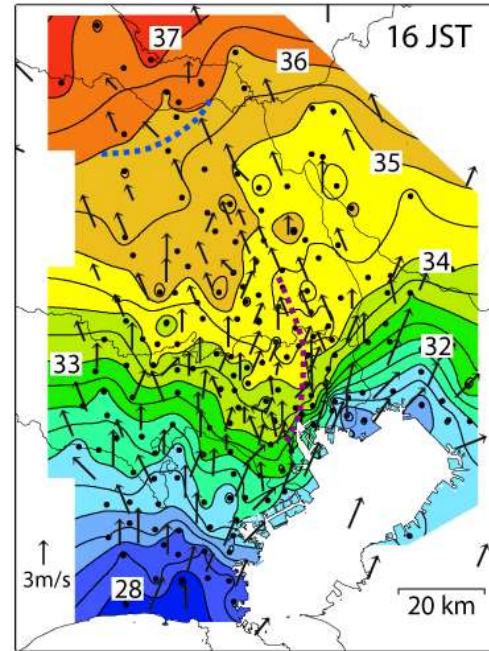
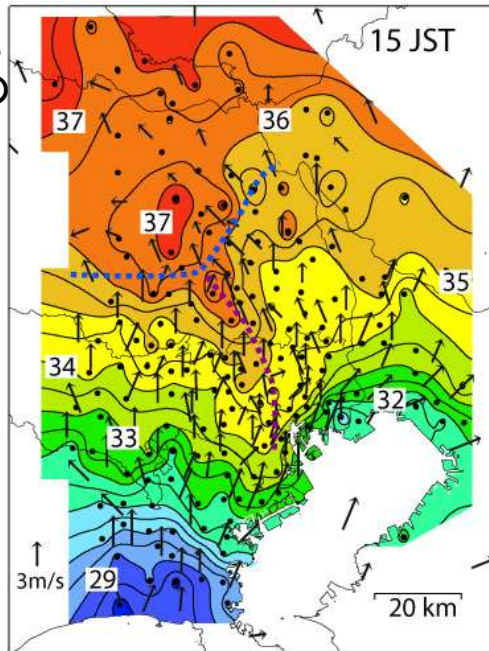
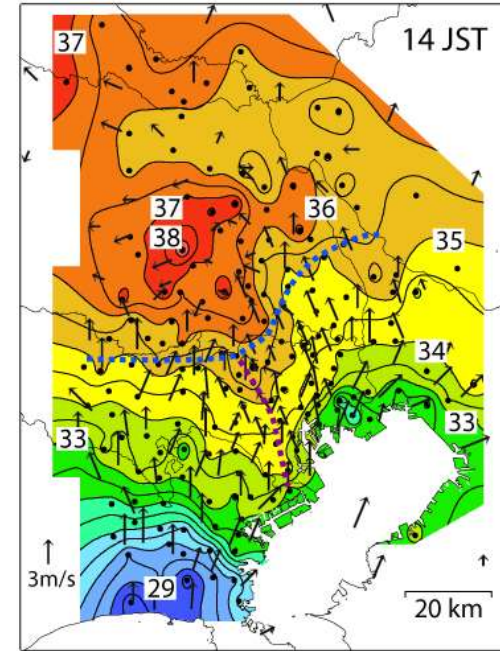
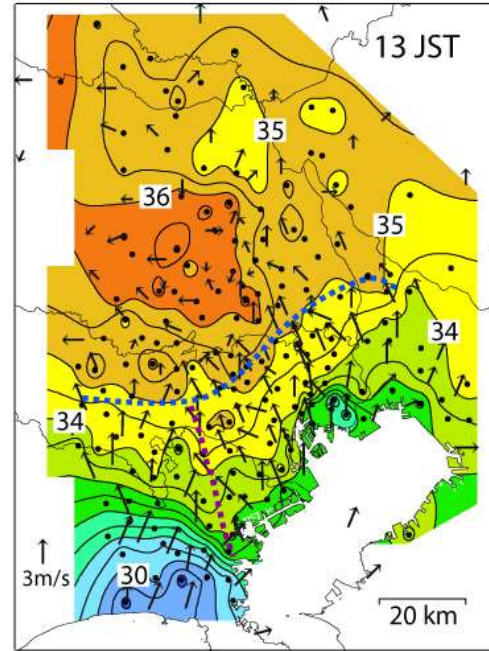
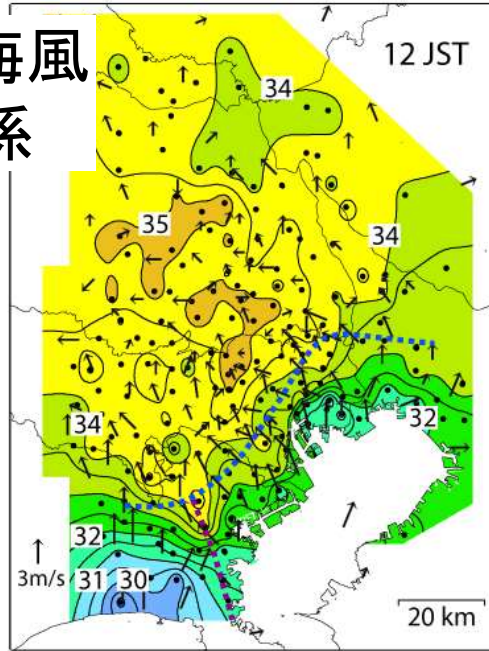
夏季日中(海風)気温分布の特徴

沿岸部は低温

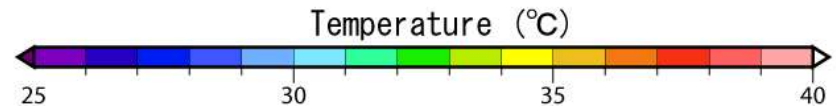
都区部西部にくさび状の高温域

埼玉県南部(川越付近)に高温域

海風の侵入とともに内陸側へ(北関東の高温域とは独立)



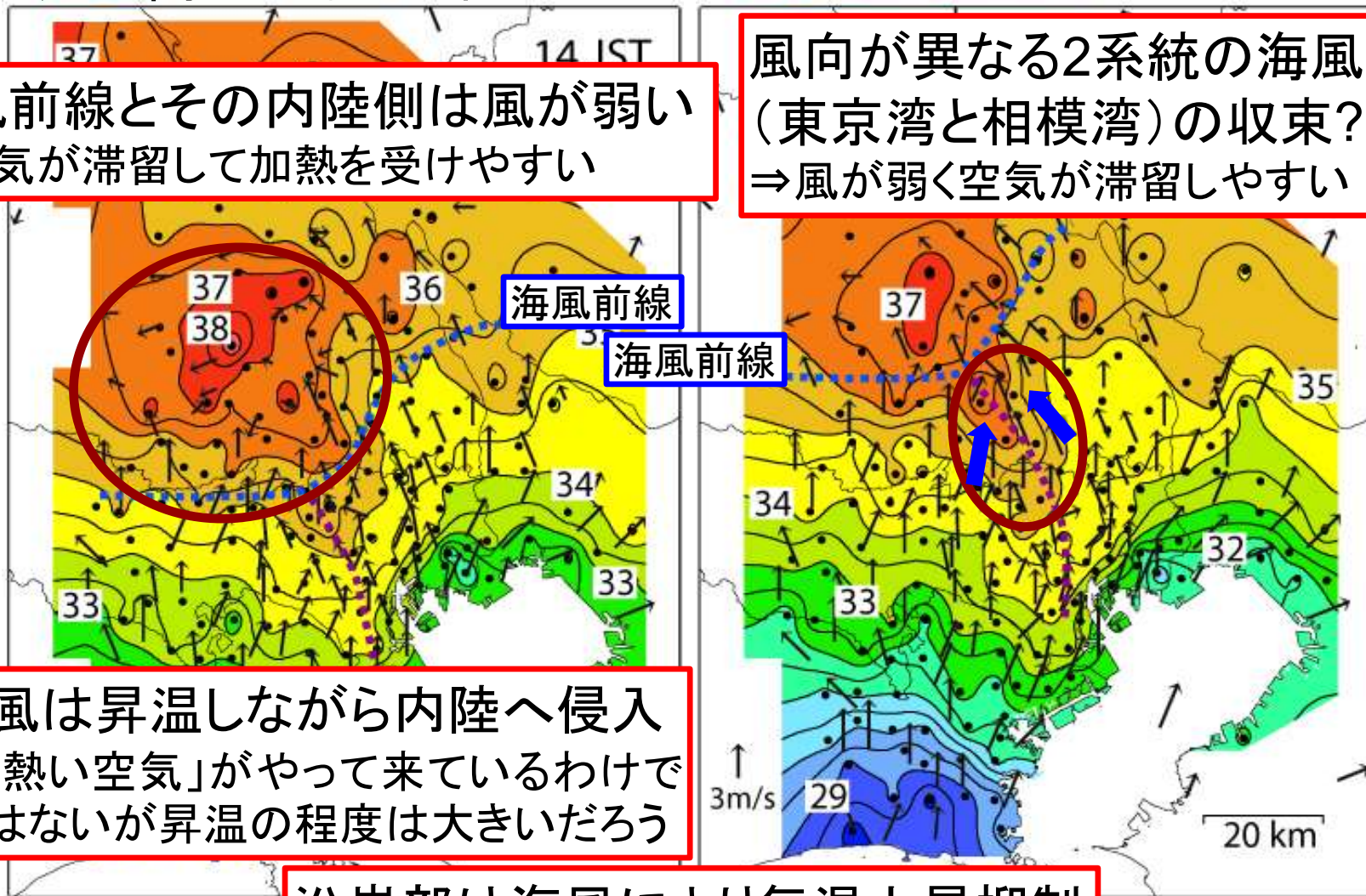
Temperature and surface wind distribution recorded on Aug. 4, 2006. The sea breeze front is shown by the dashed blue line. The convergence line is shown by the dashed purple line. Yamato et al.(2017, IJC)



練馬付近が高温になる理由は？

海風前線とその内陸側は風が弱い
⇒空気が滞留して加熱を受けやすい

風向が異なる2系統の海風
(東京湾と相模湾)の収束?
⇒風が弱く空気が滞留しやすい



海風は昇温しながら内陸へ侵入
⇒「熱い空気」がやって来ているわけ
はないが昇温の程度は大きいだろう

沿岸部は海風により気温上昇抑制

- ・沿岸部は低温
- ・都区部西部にくさび状の高温域
- ・埼玉県南部(川越付近)の高温域

3. 都市の短時間強雨

- ◎短時間強雨とは？
- ◎強雨の発生はどこで多い？
- ◎風の変化に気を付けよう

ゲリラ豪雨

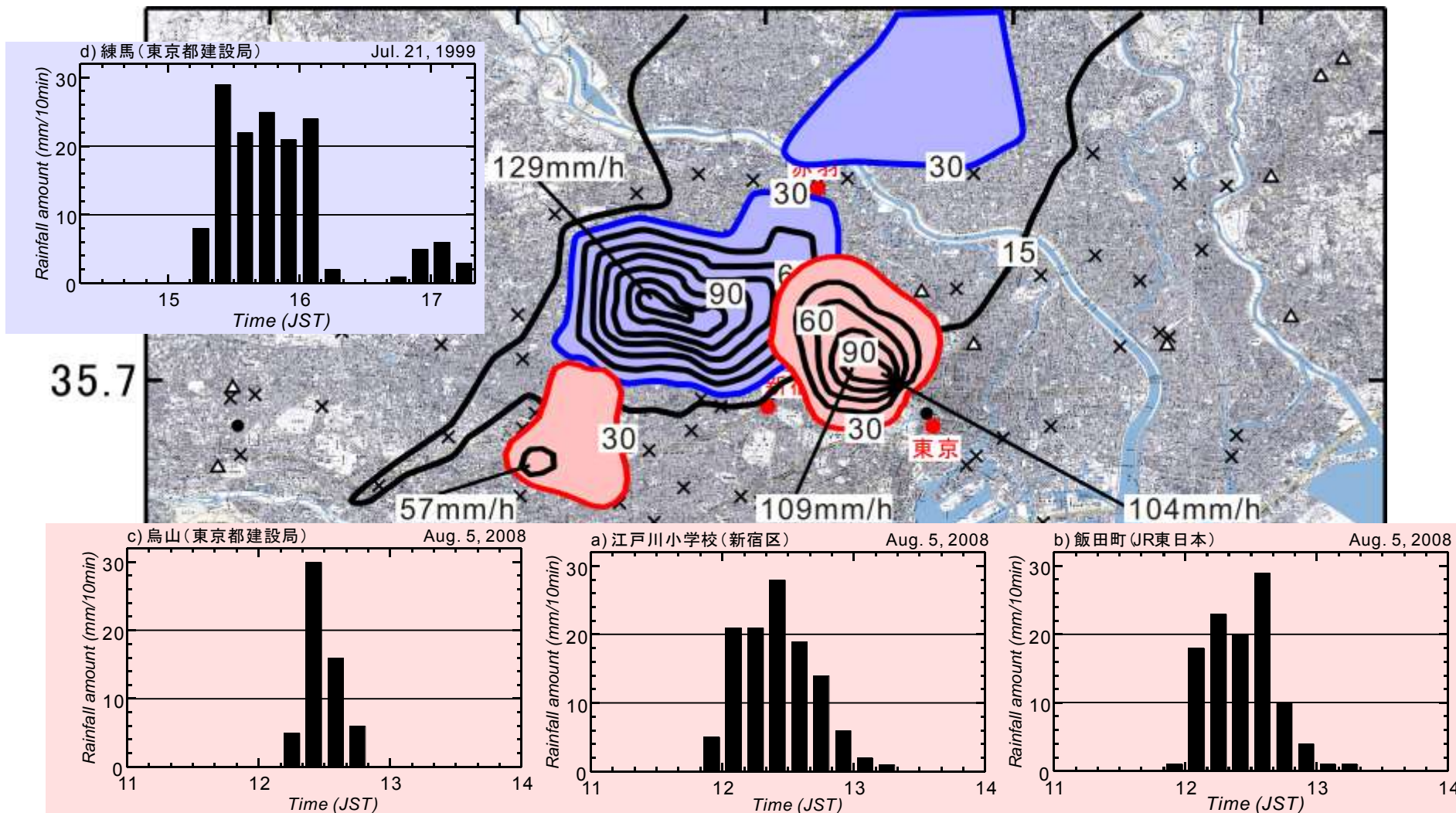
予測が困難な、突発的で局地的な豪雨を指す俗語

2008年頃よりマスコミ等でこの用語が頻出

短時間強雨の典型例：練馬豪雨と2008年8月5日豪雨

1999年7月21日15時10分から16時10分(死者1名, 床上579棟, 床下323棟)

2008年8月5日 12時00分から13時00分(死者5名, 床上142棟, 床下69棟)

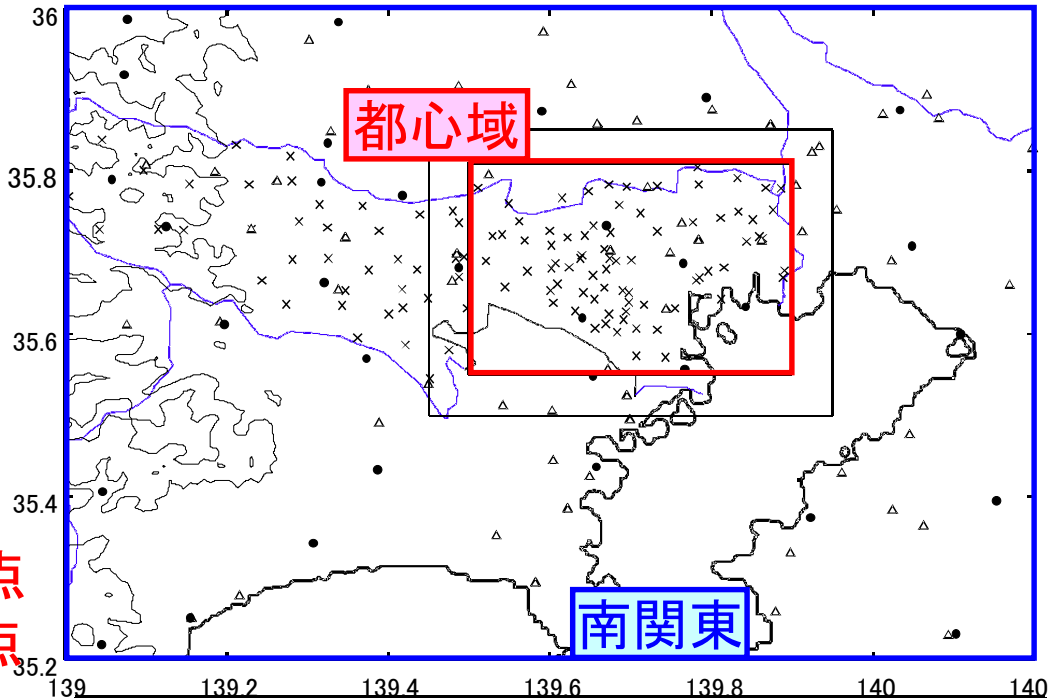


強雨域(30mm/h以上)の範囲は直径数~10km

1時間降水量100mm以上, 10分間降水量25~30mmが急に開始

強雨の発生はどこが多い？

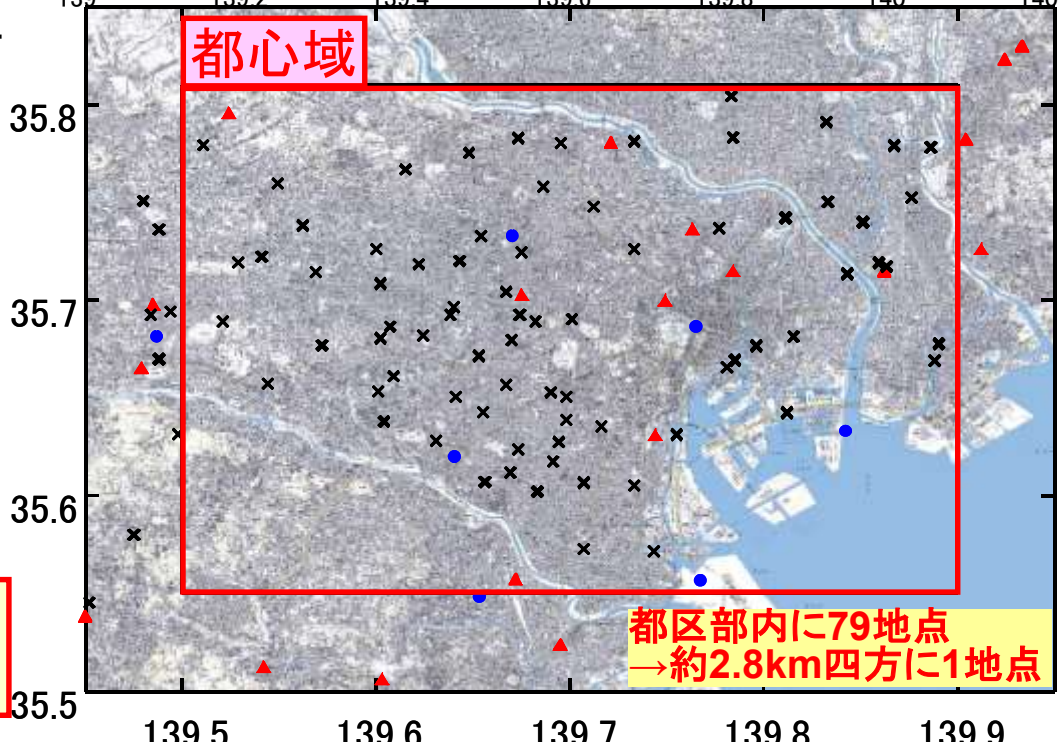
- 1. アメダス降水量 : ●
南関東: 33地点 都心域: 5地点
- 2. JR降水量 : ▲
南関東: 63地点 都心域: 9地点
- 3. 東京都降水量 : ×
東京都: 117地点 都心域: 76地点
合計: 90地点



強雨頻度分布 : 1991~2002年

強雨事例の抽出手順

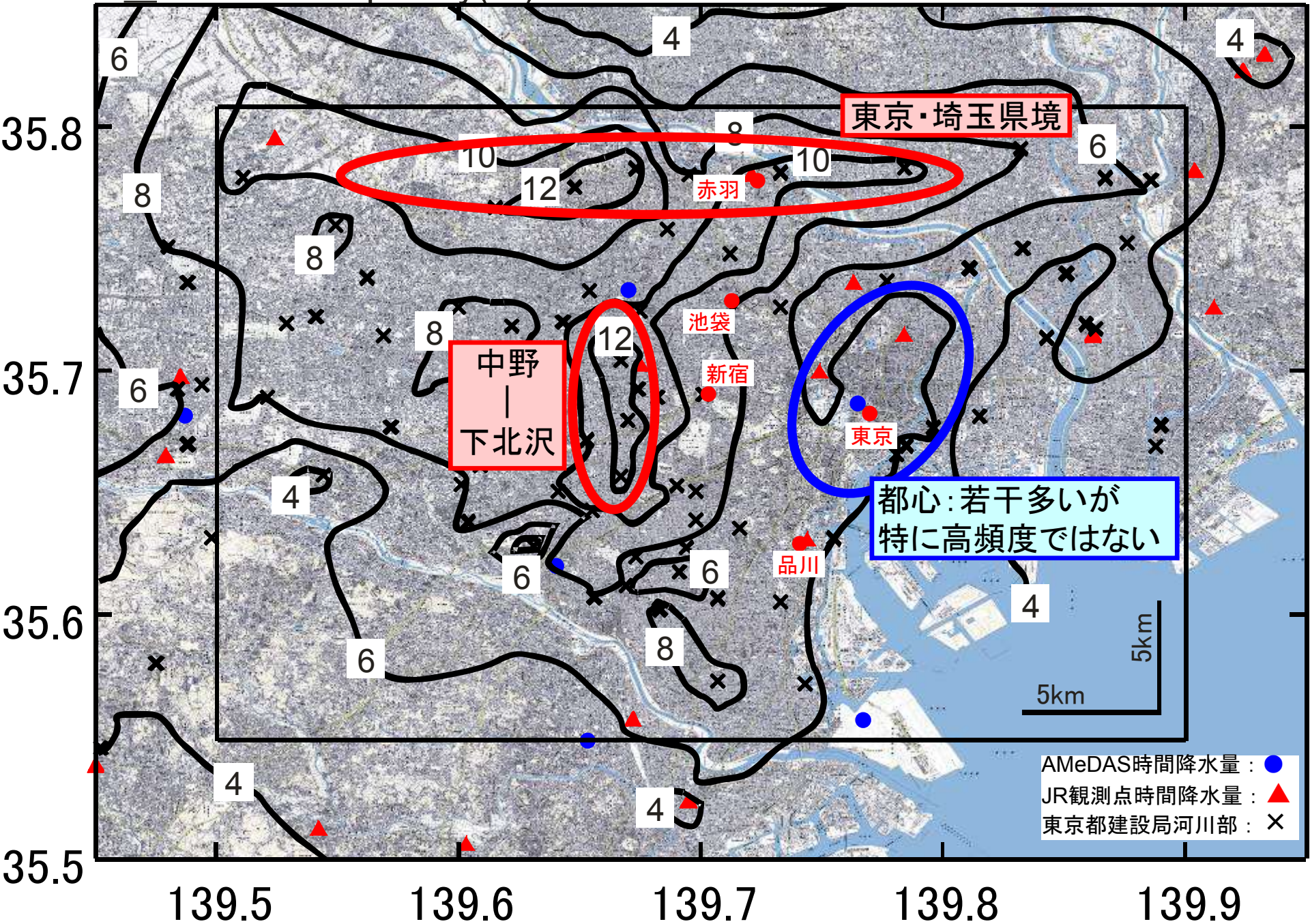
- 1. 都心域で時間降水量20mm以上の記録がある時間を全抽出(420時間)
- 2. 台風や前線によって広域的にまとまった降水がある場合を除外
- 3. 異常値の可能性のある値を個別検討

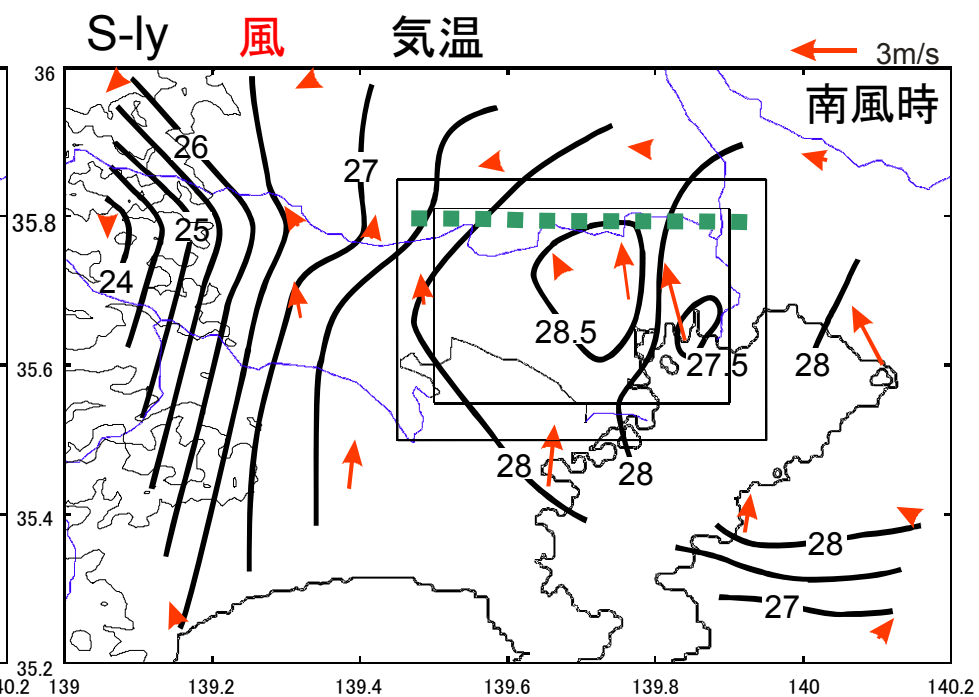
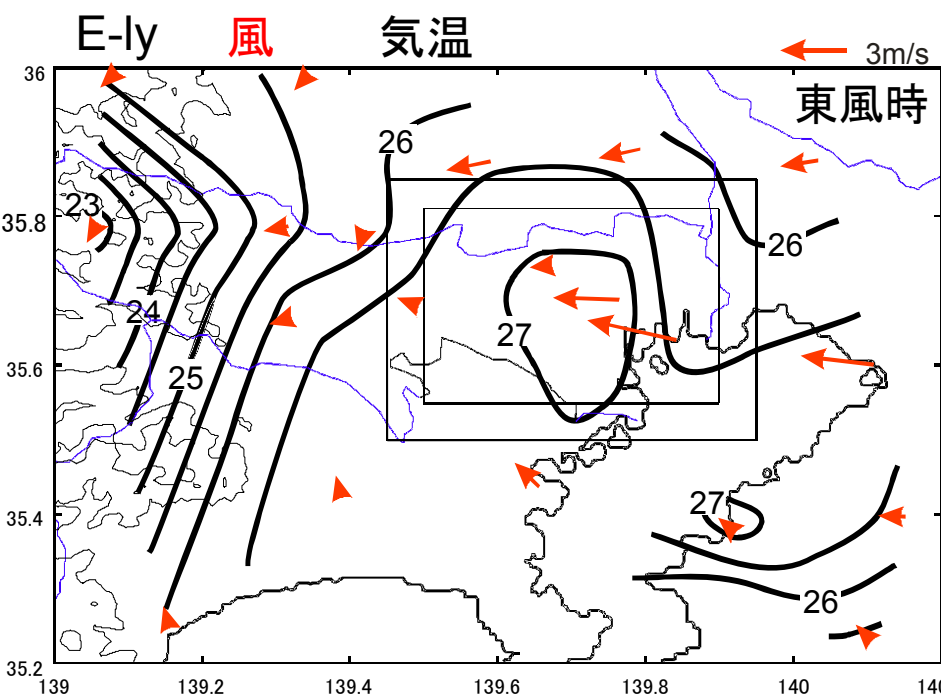


都心域で時間降水量20mm以上を
観測した強雨事例: 226事例(時間)

都区部内に79地点
→約2.8km四方に1地点

≥20mm Frequency(%) 226 cases 全226事例を分母とした強雨頻度%





大手町(気象庁)の風向で場合分け

◎風系

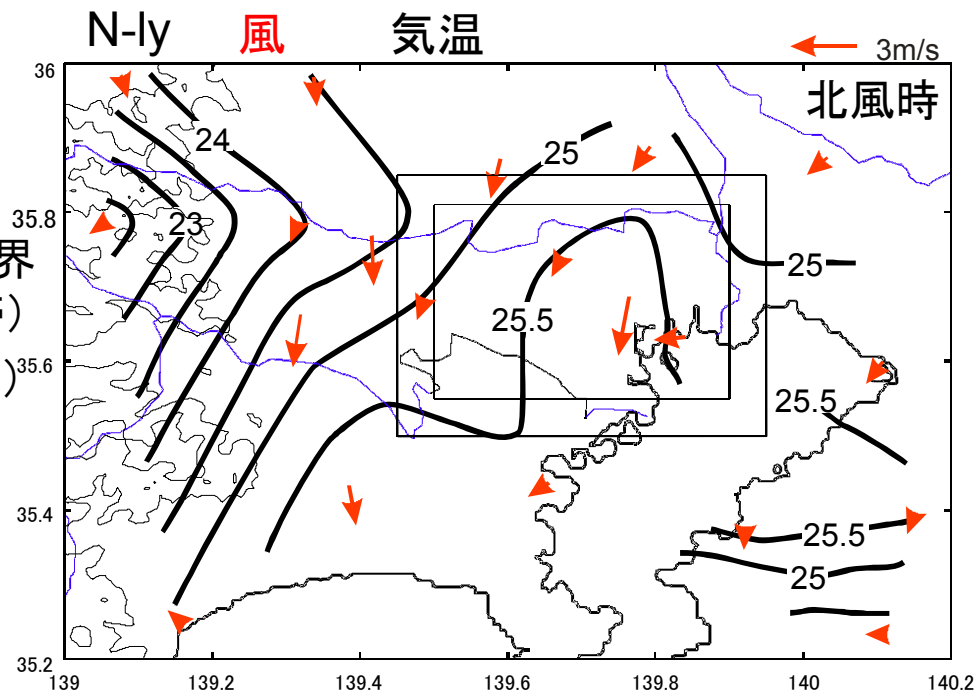
南風時: 東京・埼玉県境付近に南風と東風の境界
(収束帯)

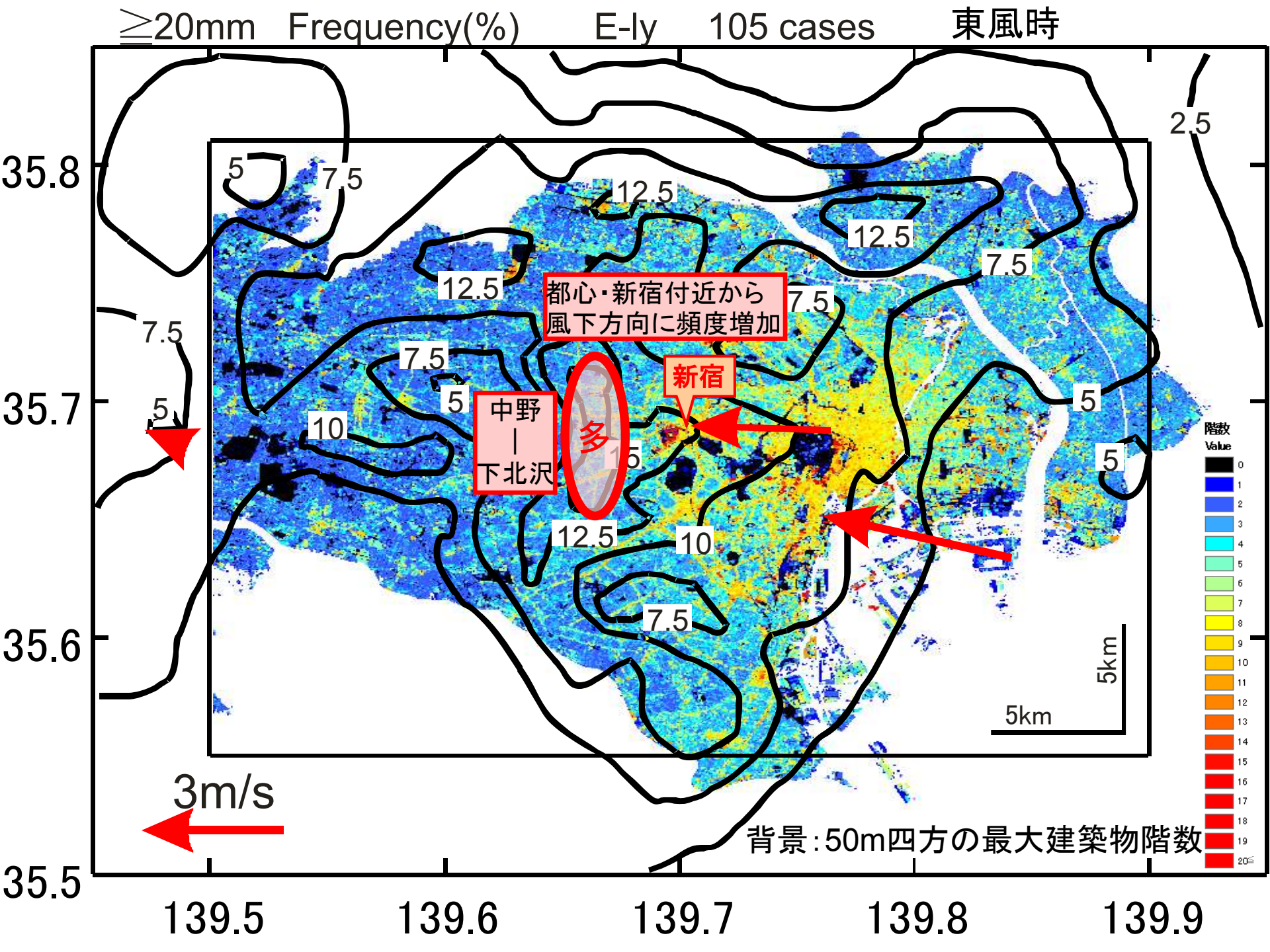
東風時: 東北東～東南東風(広域的に収斂傾向)

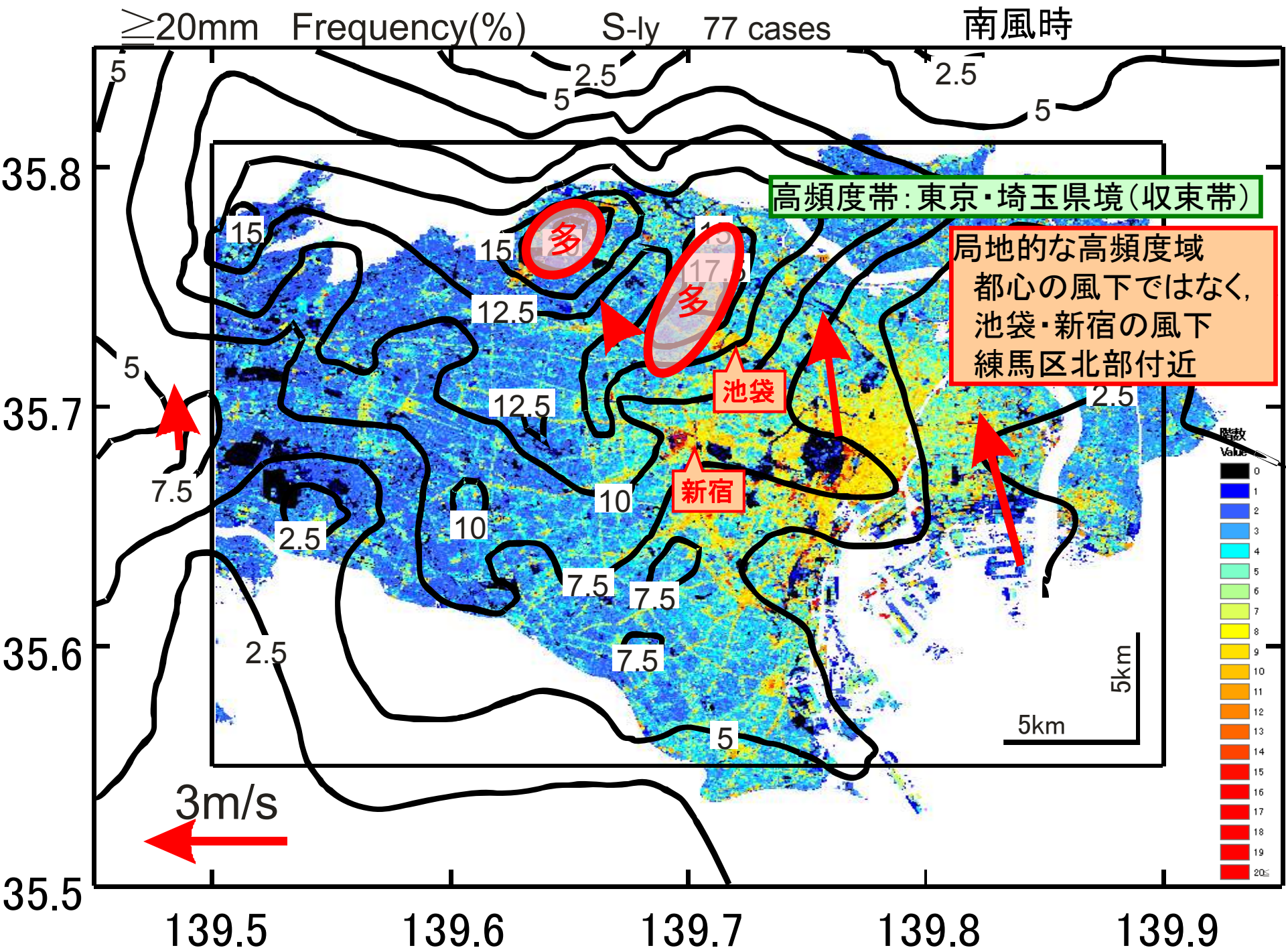
北風時: ほぼ一様に北～北北東風が卓越

◎気温

いずれの場合も大手町が高温の中心





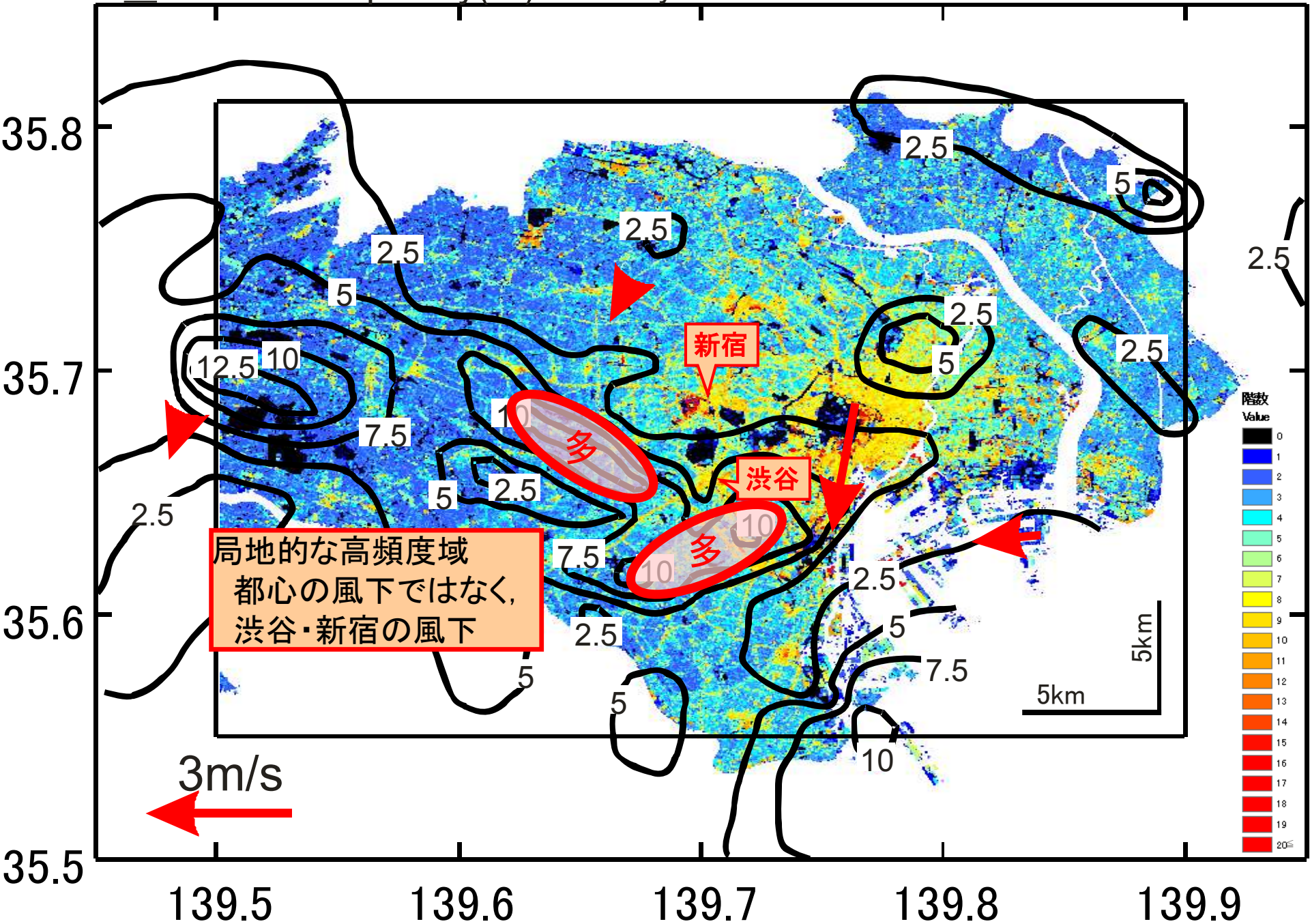


$\geq 20\text{mm}$ Frequency(%)

N-ly

29 cases

北風時



風向別の強雨高頻度域

35.8

35.7

35.6

35.5

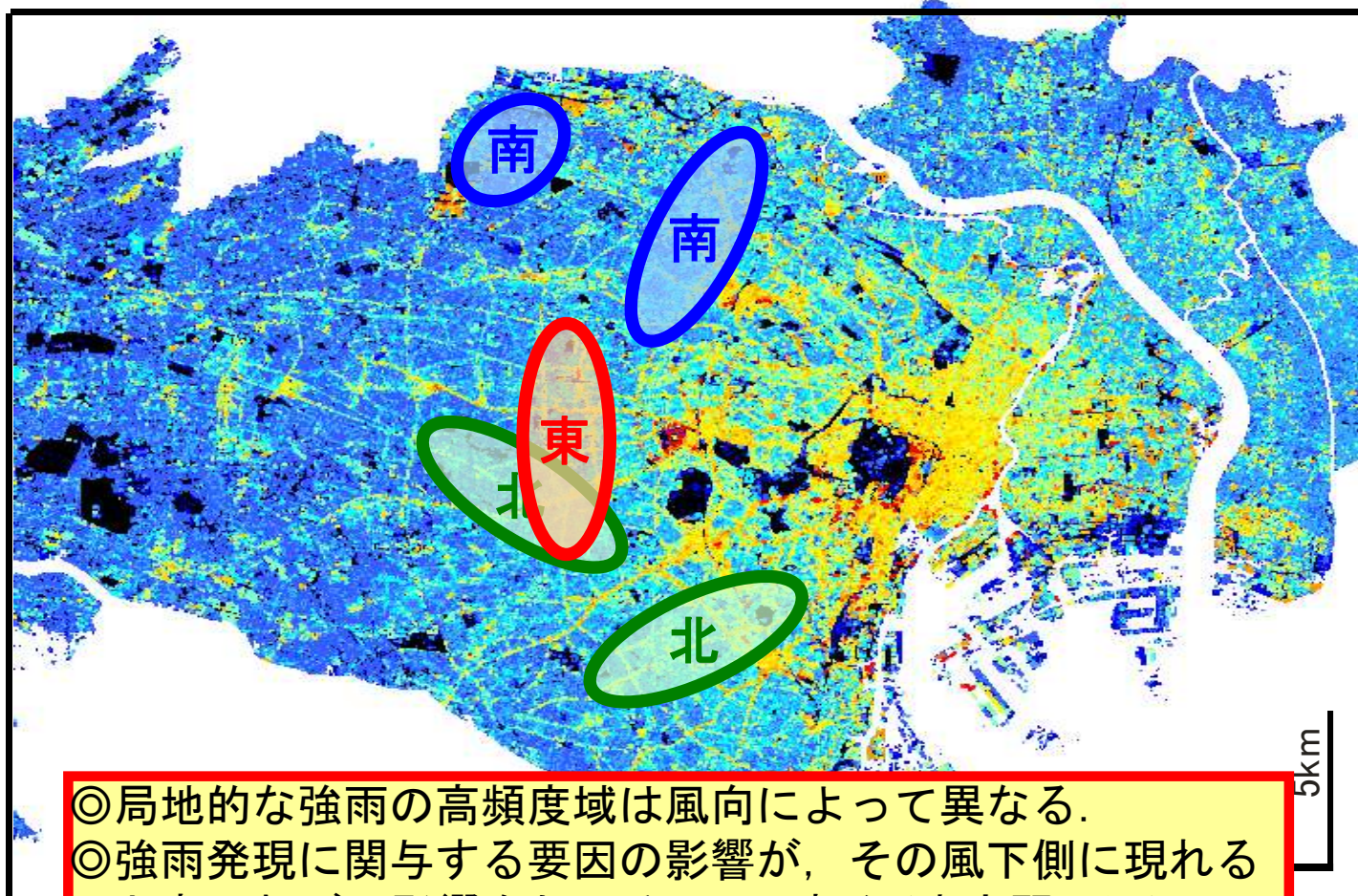
139.5

139.6

139.7

139.8

139.9

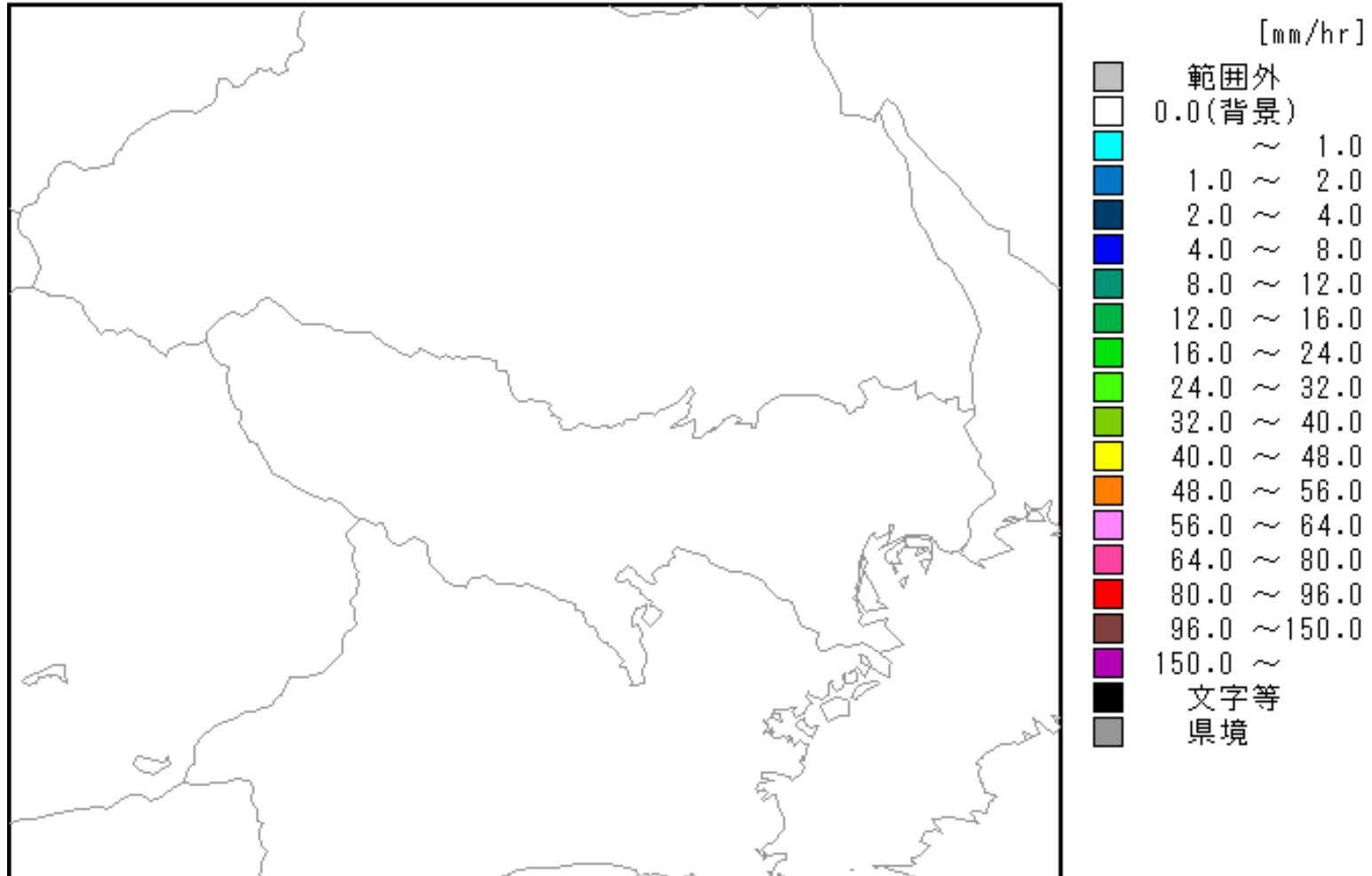


◎局地的な強雨の高頻度域は風向によって異なる。
◎強雨発現に関与する要因の影響が、その風下側に現れる
と考えれば、影響を与える要因は都心(東京駅周辺)では
なく、都区部西部の都市構造である可能性が考えられる。

(高橋ほか 2011)

2014年7月24日午後が多摩～都区部西部の雷雨

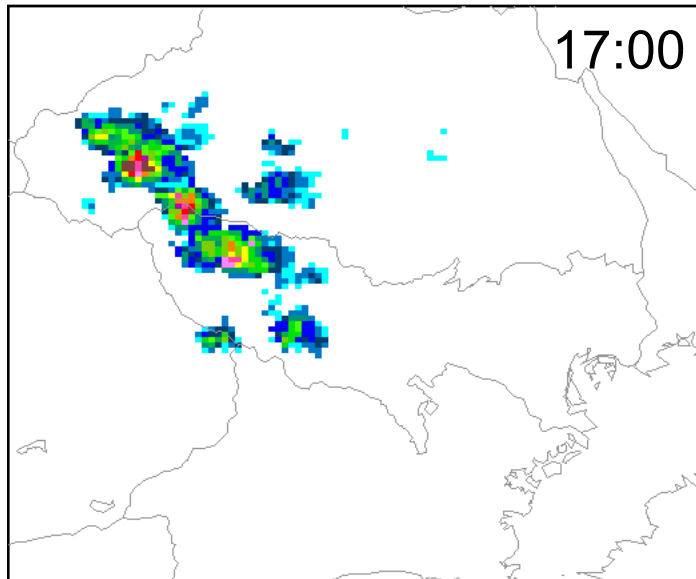
2014/07/24 13:00:00 (JST) 全国合成強度



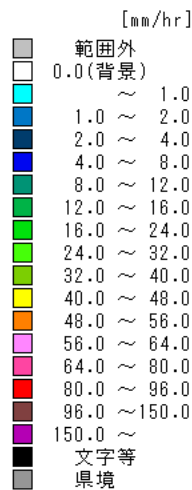
気象庁全国合成レーダー

- ・強雨域は全体として東南東方向へ移動
- ・複数の強雨の中心(降水セル)が存在

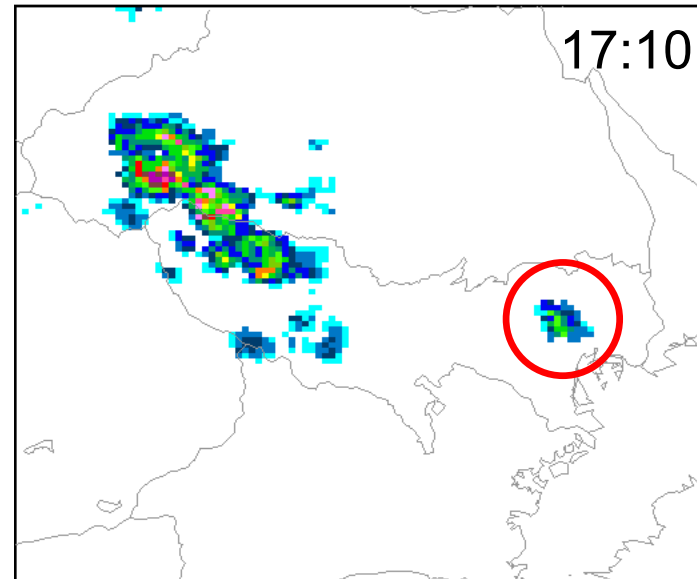
2014/07/24 17:00:00 (JST) 全国合成強度



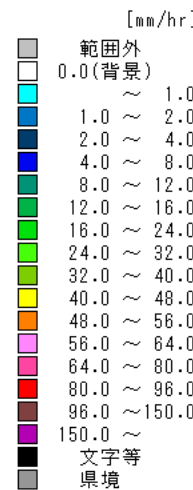
17:00



2014/07/24 17:10:00 (JST) 全国合成強度

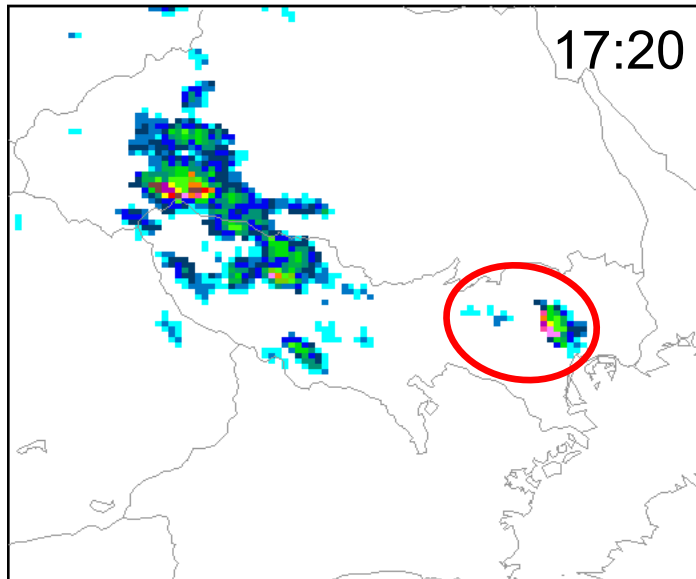


17:10

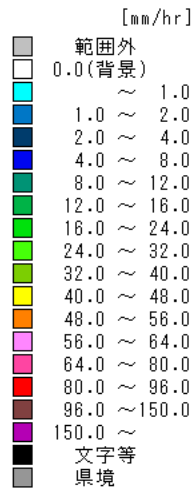


山地から東南東進する降水域に先行して都心で降水発生

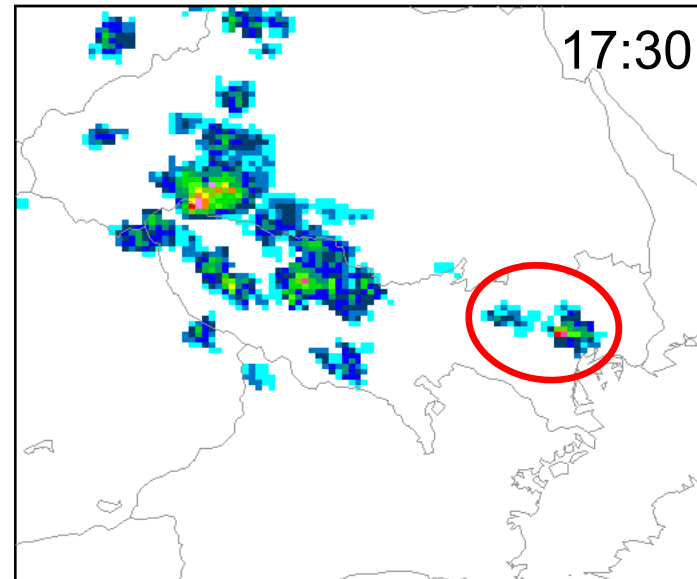
2014/07/24 17:20:00 (JST) 全国合成強度



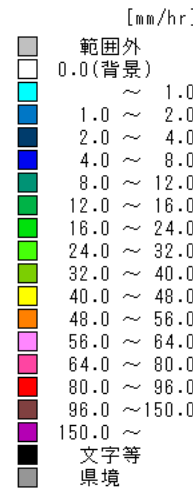
17:20



2014/07/24 17:30:00 (JST) 全国合成強度

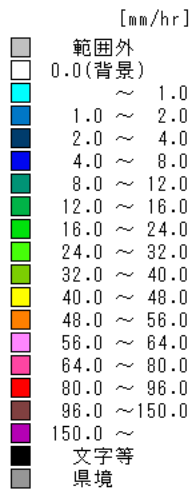
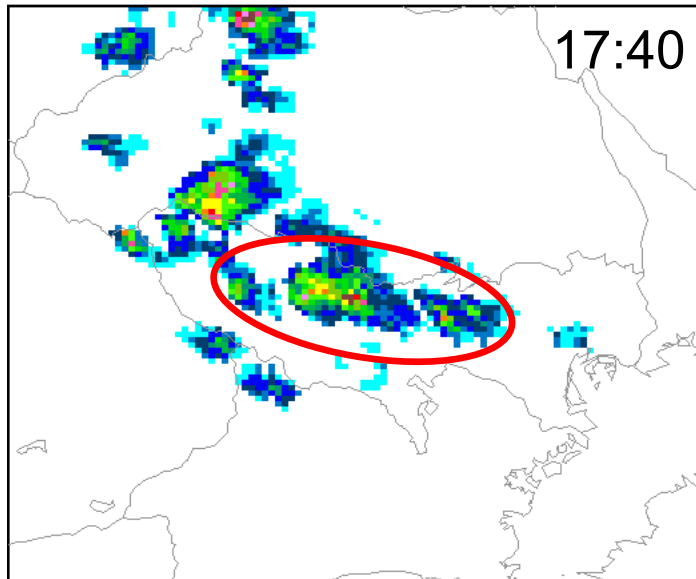


17:30

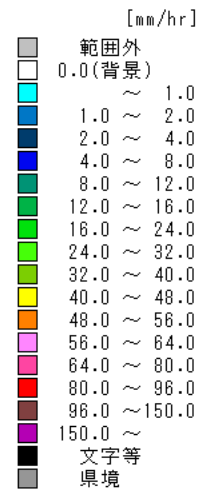
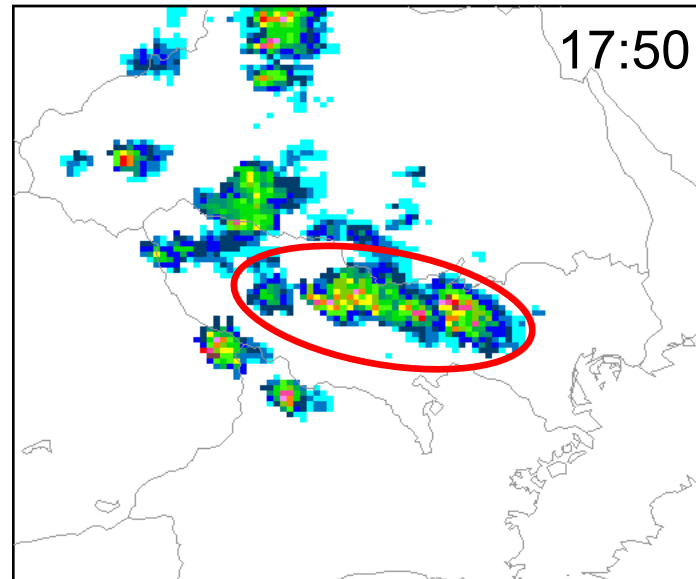


都心の降水域の西側にも別の降水域

2014/07/24 17:40:00 (JST) 全国合成強度

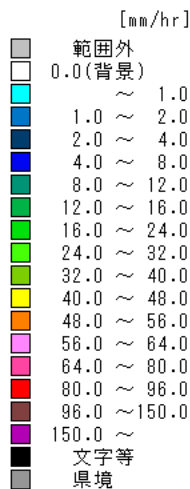
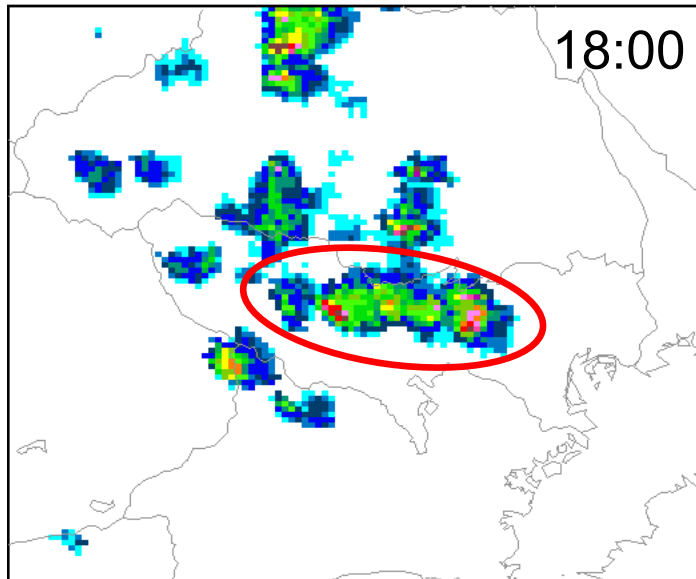


2014/07/24 17:50:00 (JST) 全国合成強度

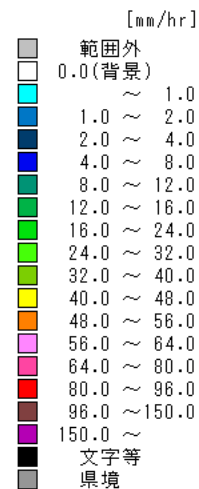
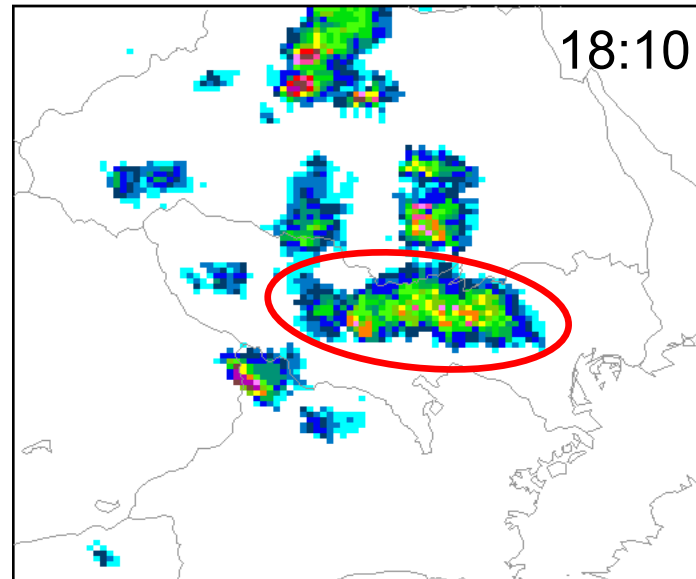


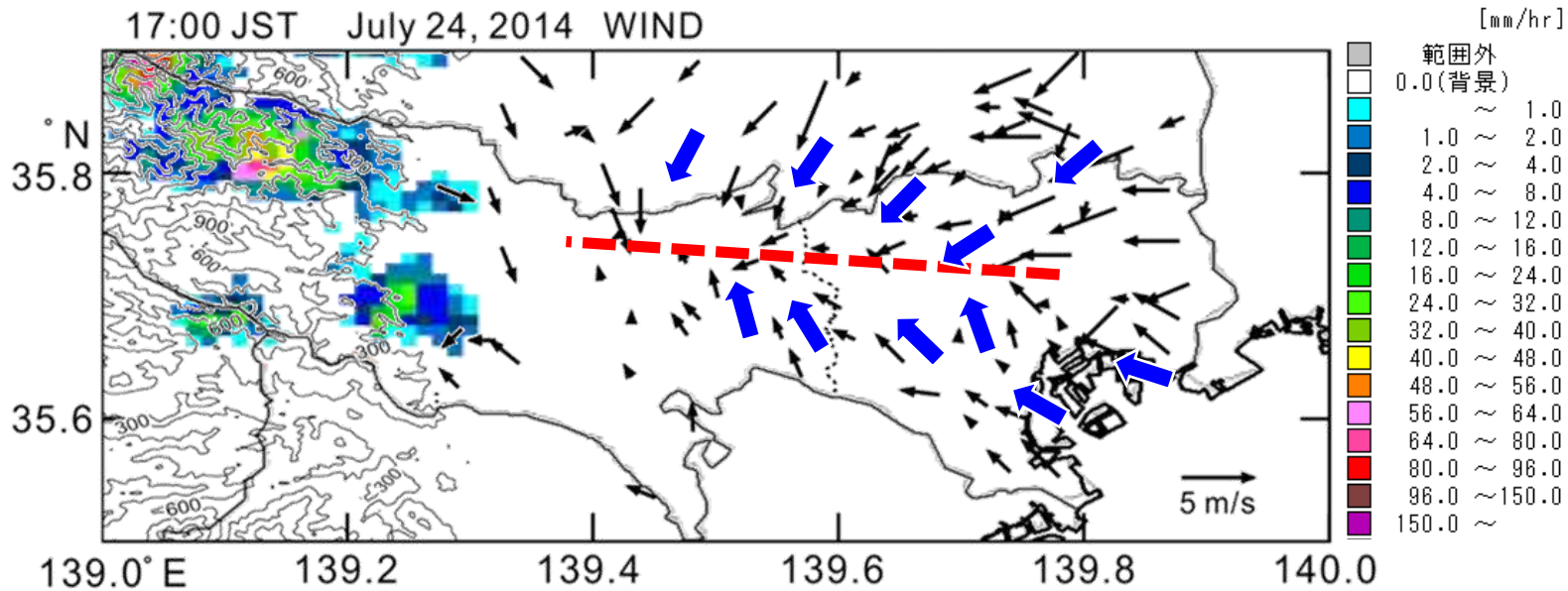
多摩北部から都区部西部で降水域が東西の列状をなす

2014/07/24 18:00:00 (JST) 全国合成強度

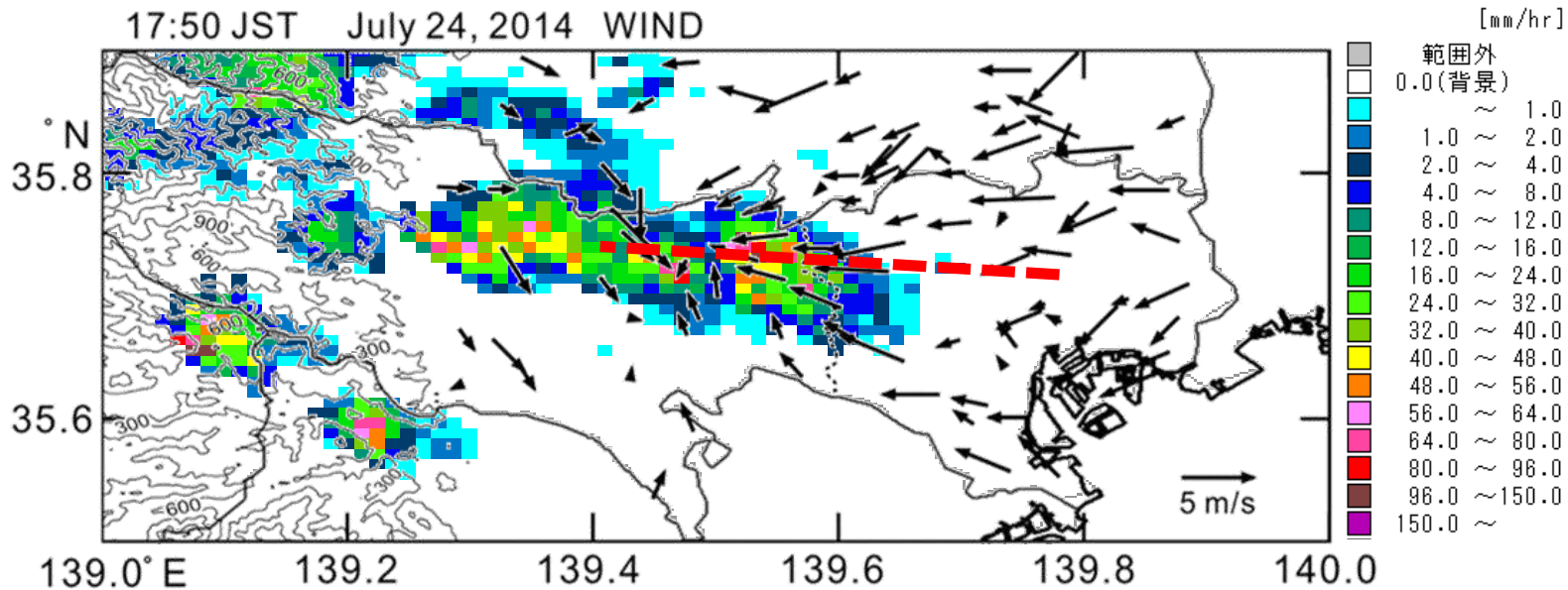


2014/07/24 18:10:00 (JST) 全国合成強度





都心から西方へのびる収束帯の形成



収束帯上を降水域が発達しながら移動