GPV マニュアル

平成 23 年 3 月 31 日

1　はじめに

筑波大学計算科学研究センター（以下 CCS）では、2005 年 4 月から気象庁 GPV データの取得を開始し現在に到るまで日々データをダウンロードし蓄え続けている。データ取得を開始してから 6 年余りが経過した現在、総データ容量は 6.4TB となっている。そのデータは教育・研究目的における利用についてのみ我々のデータサーバーを通して公開している。本マニュアルでは、当センターで公開しているデータについての詳細と実際にデータを利用方法について簡単な例をあげて解説する。

2　公開データ

CCS で気象業務支援センターより取得し公開しているデータは以下のとおりである。

- 全球数値予報モデル　(Global Spectral Model; GSM)
- 領域数値予報モデル　(Regional Spectral Model; RSM)
- メソ数値予報モデル　(Meso Spectral Model; MSM)
- 週間アンサンブル数値予報モデル

2.1　全球数値予報モデル　(GSM)

気象庁の GSM は静力学平衡を仮定したプリミティブ方程式を採用している。予報変数は東西風、南北風、気温、比湿、そして地上気圧である。積分のスキームとしては水平方向には球面調和関数を基底関数とし、鉛直方向には鉛直リープフロッグ、セミラグランジアン及びセミインプリシット時間積分スキームを用いている。水平解像度は 2007 年 11 月 20 日までは TL319 で格子間隔で約 60km であったが、2007 年 11 月 21 日から TL959(格子間隔 20km) へと変更された。また鉛直解像度は変更前はハイブリッド 40 層（大気上端は 0.4 hPa）で後にハイブリッド 60 層（Top は 0.1 hPa）へと変更された。初期値作成には 4 次元データ同化が導入されており、インナーループモデルの解像度が 2007 年 11 月 20 日までは T106L40 であったが、2007 年 11 月 21 日から T159L60 へと変更された。その他予報モデルの詳細については気象庁のドキュメントを参照されたい。以下の表に公開しているデータに含まれている気象要素等についてまとめる。

2007 年 11 月 20 日まで

基礎方程式系	プリミティブ方程式
初期値	00UTC, 12UTC
予報時間	84 時間（6 時間間隔） for 00UTC 96 時間（6 時間間隔） for 12UTC
領域	全球
モデル解像度	TL319L40 (60 km)
データ形式	GRIB (wgrib で読み込み可能)
鉛直層数	16 層 (1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa)
地上物理量	海面更正気圧 [Pa], 地上東西風 [m/s], 地上南北風 [m/s] 地上気温 [K], 相対湿度 [%], 降水量 [kg/m^2], 地上気圧 [Pa]
p 面物理量	ジオポテンシャル高度 [m], 東西風 [m/s], 南北風 [m/s], 気温 [K], 相対湿度 [%], 鉛直 p 速度 [Pa/s]

ただし相対湿度と鉛直 p 速度は 300 hPa まで

2007 年 11 月 21 日以降

基礎方程式系	プリミティブ方程式
初期値	00UTC, 06UTC, 12UTC, 18UTC
予報時間	312 時間（6 時間間隔） for 00UTC, 06UTC, 18UTC 800 時間（6 時間間隔） for 12UTC
領域	全球
モデル解像度	TL959L60 (20 km)
データ形式	GRIB2 (wgrib2 で読み込み可能)
鉛直層数	16 層 (1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa)
地上物理量	海面更正気圧 [Pa], 地上気圧 [Pa], 地上 10m 東西風 [m/s], 地上 10m 南北風 [m/s], 地上 2m 気温 [K], 地上 2m 相対湿度 [%], 低層雲 [%], 中層雲 [%], 高層雲 [%], 降水量 [kg/m^2]
p 面物理量	ジオポテンシャル高度 [m], 東西風 [m/s], 南北風 [m/s], 気温 [K], 相対湿度 [%], 鉛直 p 速度 [Pa/s]

・降水量は予報値のみ

・相対湿度と鉛直 p 速度は 300 hPa まで

2.2　領域数値予報モデル　(RSM)

RSM は GSM と同様に静力学平衡を仮定したプリミティブ方程式を採用している。水平方向にはデカルト座標系、鉛直方向は GSM と同様ハイブリッド座標系を用いている。また境界値には GSM の出力を用いている。水平方向の格子は日本を中心とした東アジア領域を対象としており水平格子間隔は 20km である。鉛直格子数は 40 で大気上端は 10 hPa である。2.1 で述べたとおり、2007 年 11 月 21 日から GSM の解像度が TL319 (60km) から TL959 (20km) へと変更されたため RSM は廃止された。また RSM は国内二進格子点通報式（以下、DGRB）という特殊なフォーマットを採用している。このデータの読み込み方法については後述する。

基礎方程式系	プリミティブ方程式
初期値	00UTC, 12UTC
予報時間	18 時間（地上物理量は 1 時間間隔） （p 面物理量は 3 時間間隔）
領域	北緯 20 度・東経 120 度 〜 北緯 50 度・東経 150 度
データ形式	国内二進格子点通報式（DGRB）
水平解像度	
鉛直層数	16 層 (1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa)
地上物理量	海面更正気圧 [Pa], 地上気圧 [Pa], 地上 10m 東西風 [m/s], 地上 10m 南北風 [m/s], 地上 2m 気温 [K], 地上 2m 相対湿度 [%], 低層雲 [%], 中層雲 [%], 高層雲 [%], 降水量 [kg/m^2]
p 面物理量	ジオポテンシャル高度 [m], 東西風 [m/s], 南北風 [m/s], 気温 [K], 相対湿度 [%], 鉛直 p 速度 [Pa/s]

・降水量は予報値のみ

・相対湿度と鉛直 p 速度は 300 hPa まで

2.3　メソ数値予報モデル　(MSM)

MSM では完全圧縮系の非静力学方程式系を採用している。鉛直座標には気圧を元にした座標系ではなく、地形に合わせた高度を用いた座標系である。一日の予報回数、予報時間および水平解像度等について変更がされている。水平解像度については 2005 年 5 月 1 日から 2006 月 2 月 28 日までは 10 km であったが、2006 年 3 月 1 日以降は 5 km へと高解像度化された。1 日に実施する予報回数については 2005 年 5 月 1 日から 2006 月 2 月 28 日までは 00UTC, 06UTC, 12UTC および 18UTC を初期値とした 1 日 4 回の予報であったが、2006 年 3 月 1 日以降は上記の初期値に加えて 03UTC, 09UTC, 15UTC, 21UTC 初期値の予報も開始され 1 日 8 回の予報となった。また予報時間は 2005 年 5 月 1 日から 2006 月 2 月 28 日までは 18 時間であったが、2007 年 7 月 10 日以降は 03UTC, 09UTC, 15UTC, 21UTC 初期値の予報が 33 時間予報へと大幅な予報時間延長が行われている。

基礎方程式系	完全圧縮系非静力学方程式系
初期値	00UTC, 06UTC, 12UTC, 18UTC 2006 年 3 月 1 日以降は上記に加えて 03UTC, 09UTC, 15UTC, 21UTC
予報時間	18 時間（地上物理量は 1 時間間隔） （p 面物理量は 3 時間間隔） 2007 年 7 月 10 日以降は 03UTC, 09UTC, 15UTC, 21UTC 初期値の予報は 18 時間から 33 時間へ変更
領域	北緯 22.4 度・東経 120 度 〜 北緯 47.6 度・東経 150 度
データ形式	国内二進格子点通報式（2006 年 2 月 28 日まで） GRIB2　(2006 年 3 月 1 日以降)
水平解像度	10 km　(2006 年 2 月 28 日まで) 5 km　(2006 年 3 月 1 日以降)
鉛直層数	14 層 (1000, 975, 950, 925, 900, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 hPa)
地上物理量	海面更正気圧 [Pa], 地上 10m 東西風 [m/s], 地上 10m 南北風 [m/s], 地上 2m 気温 [K], 地上 2m 相対湿度 [%], 雲量 [], 降水量 [mm/h]
p 面物理量	ジオポテンシャル高度 [m], 東西風 [m/s], 南北風 [m/s], 気温 [K], 相対湿度 [%], 鉛直 p 速度 [Pa/s]

・相対湿度と鉛直 p 速度は 300 hPa まで

2.4 週間アンサンブル数値予報モデル

週間アンサンブル数値予報は GSM を低解像度にしたものを用いて 1 日 1 回、12UTC を初期値として行われている。2007 年 11 月 20 日 までは TL159L40 であったが、2007 年 11 月 21 日以降は TL319L60 へと高解像度化されている。アンサンブルメンバー数は 51 で、初期摂動には 2007 年 11 月 20 日までは Breeding of Growing Modes (BGM) 法が用いられており、2007 年 11 月 21 日以降は Singular Vector (SV) 法が用いられている。

2007 年 11 月 20 日まで

基礎方程式系	プリミティブ方程式
初期値	12UTC
予報時間	1 週間 (168 時間)
領域	全球
データ形式	GRIB （2006 年 2 月 28 日まで） GRIB2 (2006 年 3 月 1 日以降)
水平解像度	TL159L40 (約 120km 格子, 1.125 度) TL319L60 (約 60km 格子, 0.5625 度)
鉛直層数	16 層 (1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa)
地上物理量	海面更正気圧 [Pa], 地上東西風 [m/s], 地上南北風 [m/s] 地上気温 [K], 相対湿度 [%], 降水量 [kg/m^2], 地上気圧 [Pa]
p 面物理量	ジオポテンシャル高度 [m], 東西風 [m/s], 南北風 [m/s], 気温 [K], 相対湿度 [%], 鉛直 p 速度 [Pa/s]

ただし相対湿度と鉛直 p 速度は 300 hPa まで

3　データ利用方法

3.1　ユーザー登録

本マニュアルに記載されているデータを利用するには、下記のアドレスにアクセスしユーザー登録を行う必要がある。また本データは学術目的にのみ利用が許可され、商用利用は禁じられている。
http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/~gpvjma/

- http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/~gpvjma/ にアクセスし、左側上から 2 番目にある REGISTER をクリックする。
- 必要事項を記入し（*は必須事項)、Next Step をクリックする。(メールアドレスは無料のアドレスやご自宅で利用されているものではなく、所属機関のメールアドレスをご利用ください。)
- 表示されている E-mail アドレス等の情報に間違いがないか確認し、またデータ利用に関する注意事項をよく読んだ後チェックをつけ、submit をクリックする。

3.2　wgrib, wgrib2

CCS で配布しているデータは国内二進格子点通報式（DGRB)、GRIB1 および GRIB2 が用いられている。GRIB1 および GRIB2 形式のデータを様々な形式のデータに変換するツールが National Oceanic and Atmospheric Administrations's (NOAA) で配布されている。
GRIB1：http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib.html
GRIB2：http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib2/

４　WRFでの利用方法

この章では、気象庁の現業モデルプロダクトの利用例の一つとして、領域気象モデルWRF(Weather Research and Forecasting model)の初期値・境界値として利用する方法について解説する。WRFは、かつて世界最大級のユーザーを持っていたthe Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model（MM5）の後継モデルで、現在、世界中で広く利用されている。

WRF を使用する際には、気象データ（大気データ・土壌データ等）と土地被覆データ（土地利用データ・地形データ等）を入力する必要がある。WRF のプリプロセッサである WPS (WRF Preprocessing System)を通して、これらのデータから初期値・境界値に必要なデータが作成される（図１）。

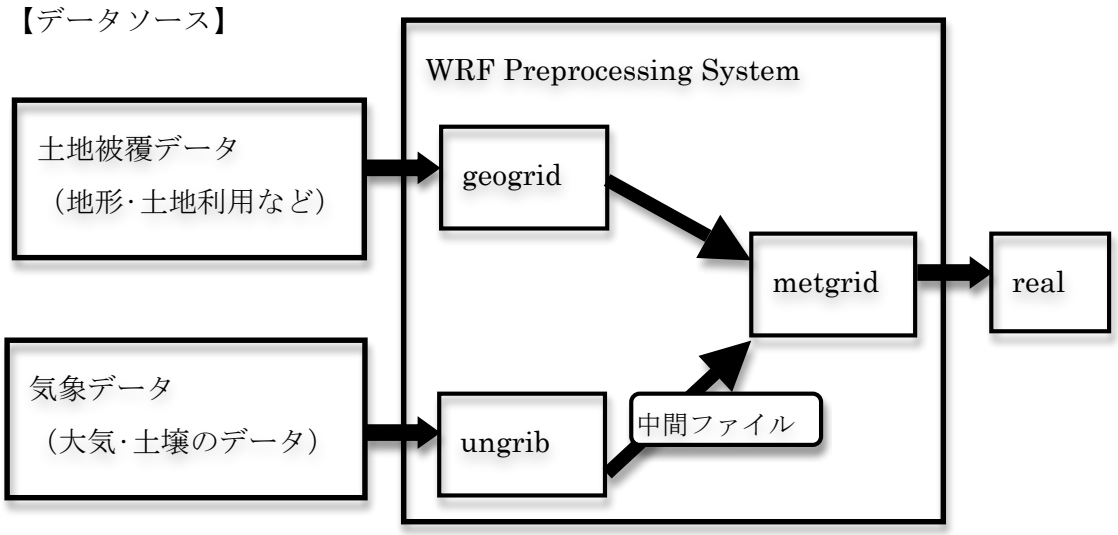

図１：WRF の初期値･境界値作成の流れ。ユーザーは、まず、気象データ（大気データ・土壌データ等）と土地被覆データ（土地利用データ・地形データ等）を用意する。土地被覆データは、WPS のツールである geogrid を用いることで NetCDF ファイルに格納される。気象データは、同じく WPS のツールである ungrib を用いることで中間ファイル（ヘッダー付きの 4 バイトのバイナリーデータ）として格納される。これらのデータは、metgrid というツールで統合され、1 つの NetCDF ファイルの中に格納される。その後、WRF のツールである real を実行することで、WPS で作成された NetCDF フ

ァイルから初期値･境界値が作成される。

大気データとしては、デフォルトで与えられている米国環境予測センター（National Center for Environmental Prediction, NCEP）の客観解析データ（Final Analyses, FNL）が利用されることが多いが、日本付近を対象とした計算を行う際は、日本およびその近海の大気を対象とした RSM や MSM のプロダクトを使用することができる。RSM、MSM の水平格子間隔は、それぞれ 20km、5km であり、FNL の水平格子間隔 1°（約 100km）に比べて細かく、日本付近での高解像度の予報に適している。ここでは、MSM のプロダクトを例として、WRF の初期値･境界値の作成方法について概説する。

通常、GRIB データ形式の大気データは、WPS のツールである ungrib.exe を実行することで中間ファイルに格納される。しかしながら、RSM の GPV データと一部の期間（2002 年 5 月 15 日～2004 年 8 月 31 日）の MSM の GPV データは、気象庁特有のフォーマット（国内二進格子点通報式, DGRB）で格納されており、通常通り ungrib.exe を利用して中間ファイルを作成することはできない。したがって、MSM の GPV データを WRF の初期値･境界値に利用するためには、ユーザー自身で、GPV データから必要な要素を抜き出して、中間ファイル形式で格納しなければならない。中間ファイルのフォーマットについては、次ページで紹介する。

なお、DGRB 形式データのデコードについては、気象庁気象研究所の若月氏のホームページ（http://www.rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~waka/）で公開されている。また、WPS の詳細については、下記の WRF-ARW のユーザーズガイドを参照して頂きたい。
http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/users_guide_chap3.htm

ここでは、MSM のプロダクトから大気データの中間ファイルを作成する方法について概説する。MSM のプロダクトから中間ファイルに格納する要素としては、表 1 のような要素が挙げられる。その他の要素（土壌温度や土壌湿度など）については、MSM のプロダクトに含まれないため、FNL などの客観解析データから、ungrib を利用して中間ファイルを作成する必要がある。

略号	要素	気圧面	単位
U	U at the surface		m/s
V	V at the surface		m/s
T	T at the surface		K
RH	RH at the surface		%
P	P at the surface		Pa
SLP	Sea level pressure		Pa
HGT	Geo potential height	1000hPa	m
U	Wind component u	1000hPa	m/s
V	Wind component v	1000hPa	m/s
T	Air temperature	1000hPa	K
RH	Relative humidity	1000hPa	%
⋮	⋮	⋮	⋮
HGT	Geo potential height	100hPa	m
U	Wind component u	100hPa	m/s
V	Wind component v	100hPa	m/s
T	Air temperature	100hPa	K
RH	Relative humidity	100hPa	%

表１：MSMから作成する中間ファイルに含める要素。気圧面は、1000、975、950、925、 900、850、800、700、600、500、400、300、250、200、150、100 hPa。MSM のプロダクトには、湿度（RH）のデータは300 hPa面までしか含まれていないので、300hPaより高高度(低気圧)のデータは外挿して与える必要がある。

次に、中間ファイルのフォーマットについて簡単に紹介する。WPSの中間ファイルは、ヘッダー情報と４バイトのバイナリーデータから構成される（図２）。ヘッダーには、表２のような情報が含まれる（表２）。

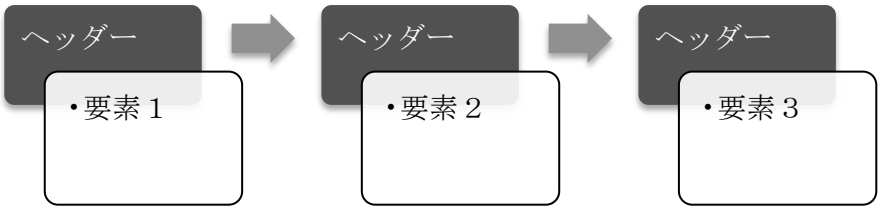

図２：中間ファイルの構成

表２：ヘッダーに含まれる変数について

変数名	変数の型	変数の意味
hdate	character(len=24)	時刻(YYYY-MM-DD_hh:mm:ss)
xfcst	real	予報時間(単位:hour)
map_source	character(len=32)	データのソース名
field	character(len=9)	データのフィールド名
units	character(len=25)	データの単位
desc	character(len=46)	データ情報の記述
xlvl	real	気圧レベル(単位:Pa)、地表面は200100
nx	integer	データの配列（X方向）
ny	integer	データの配列（Y方向）
iproj	integer	地図投影法フラグ (ふつうは proj_flag=0)
startloc	character(len=8)	最初のデータ位置 (ふつうは'SWCORNER')
startlat	real	最初のデータの緯度(北緯)
startlon	real	最初のデータの経度(東経)
deltalat	real	緯度方向のデータ間隔
deltalon	real	経度方向のデータ間隔
earth_radius	real	地球の半径

5　MSMを用いた2010年夏季の濃尾平野における熱環境の予測実験

5.1　計算設定

前章で説明したMSMを初期値・境界値に用いて2010年夏季の濃尾平野における広域熱環境の予測実験を試みる。濃尾平野は2007年8月16日に日最高気温の極値を更新する40.9 ℃を記録した岐阜県多治見市や日本の三大都市圏の一つである名古屋都市圏を含むなど、夏季に熱環境が悪化しやすい地域の一つであり、これによる同地域の社会的損失や健康被害が懸念されている。これらを予防するためにも、同地域を対象とした気温の予測精度の向上が望まれている。

対象事例は多治見市で日最高気温38.8 ℃を観測した2010年8月18日とする。使用する数値モデルは領域気象モデルWRF Version 3.1.1（Skamarock et al., 2008）である。計算設定の詳細は表3の通りである。計算対象領域を図3に示す。第1領域の水平格子間隔は2.5 km、第2領域は0.5 kmである。初期時刻は8月17日の0900 JSTとし、同時刻から33時間予報を行う。土地利用データは国土地理院のデータを使用する。表4は本実験で使用した各物理過程である。境界層スキームにはMYNN Level 3 (Nakanishi, 2001; Nakanishi and Nino, 2004; 2006)を、地表面スキームにはNoah LSM (Chen and Dudhia, 2001) と単層都市キャノピーモデル(Kusaka et al., 2001; Kusaka and Kimura, 2004) を用いる。

表 3: 予測実験の計算設定. 各センターの名称は以下の通りである. Geographical Survey Institute; GSI, Japan Meteorological Agency; JMA, National Center for Atmospheric Research; NCAR, National Center of Environmental Prediction; NCEP, National Ocean and Atmosphere Administration; NOAA.

	region1	region2
Domain	Fig. 1a	Fig. 1b
Horizontal Resolution (km)	2.5	0.5
Grid number (x, y, z)	119 × 129 × 50	200 × 200 × 50
Integral Time (hour)	33	-
Initial and Boundary Conditions (Atmosphere)	JMA MSM	-
Initial and Boundary Conditions (Land)	NCEP Final analysis (FNL)	-
Initial and Boundary Conditions (SST)	NOAA/NCEP Real-time global Sea Surface Temperature analysis (RTG-SST)	-
Land-Use	GSI digital national land information	-

表 4: 予測実験で使用した物理過程.

	Physics	Reference
Microphysics	WSM3	Hong *et al.* (2004), Dudhia (1989)
Radiation (Longwave)	RRTM	Mlawer *et al.* (1997)
Radiation (Shortwave)	Dudhia	Dudhia (1989)
Boundary Layer	MYNN Level3	Nakanishi (2001), Nakanishi and Nino (2004; 2006)
Surface Layer	MYNN (based on similarity theory; Monin and Obukhov, 1954)	-
Land-Surface (No-Urban)	Noah LSM	Chen and Dudhia (2001)
Land-Surface (Urban)	Signle-Layer UCM	Kusaka *et al.* (2001), Kusaka and Kimura (2004)

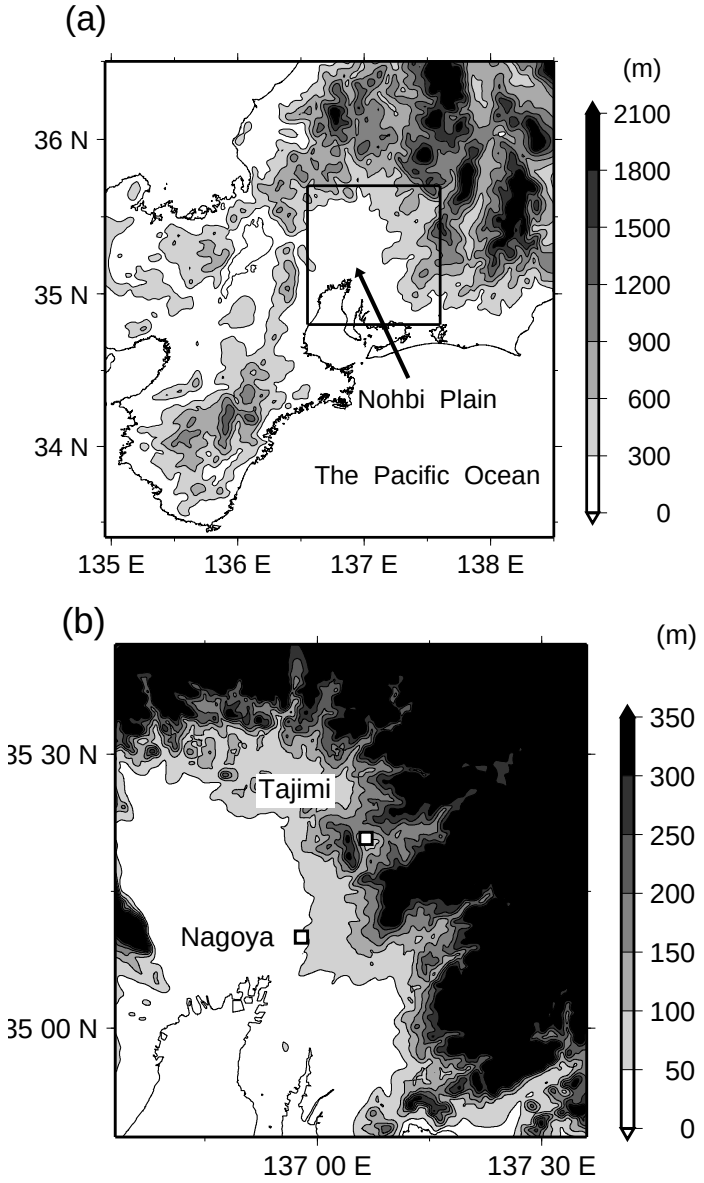

図 3: 予測実験の対象領域. (a) 第一領域, (b) 第二領域. □は多治見と名古屋の観測地点をそれぞれ示す.

5.2　結果

5.2.1　総観場の特徴

図 4 は 2010 年 8 月 18 日 0900 JST の地上天気図である。日本列島は日本海と本州の南海上に中心を持つ高気圧に覆われていた。同時刻の輪島や潮岬、舘野における 850 hPa 面の風速は 8 m/s 以下と一般風は比較的弱い総観場にあった。

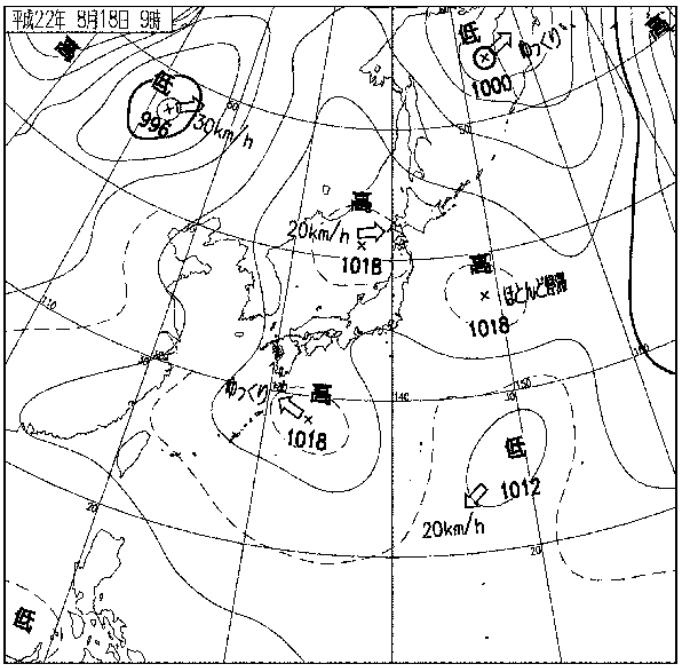

図 4: 2010 年 8 月 18 日 0900 JST における地上天気図（気象庁 HP より）.

5.2.2　水平分布

初期時刻から 18 時間後である 8 月 18 日 0600 JST における WRF モデルによって計算された地上気温と地上風の水平分布を、図 5 に示す. 第 1 領域における濃尾平野内の気温の幅は 27-30 ℃であり（図 5 上段左)、同時刻広範囲で北西-北よりの風が吹いている（図 5 上段右)。第 2 領域における多治見市内と春日井市内の気温はともに 28 ℃前後であり（図 5 下段左)、多治見市周辺では弱風域となっている（図 5 下段右)。

以上の 0600 JST の気温と風の予測結果を観測値と比較する。図 6 は同時刻に観測された地上気温と地上風の水平分布である。濃尾平野内の気温の幅は 25-28 ℃であった。この結果は第 1 領域の予測結果に比べて 2 ℃程度低い値である（図 5 上段左 versus 図 6 上段左)。第 1 領域

の地上風はおおむねあっている（図 5 上段右 versus 図 6 上段右）。多治見市内と春日井市内の気温は 26-27 ℃であった。この結果は第 2 領域の予測結果に比べて 1-2 ℃程度低い（図 5 下段 versus 図 6 下段）。WRF モデルは第 1 領域と第 2 領域において 0600 JST の観測値を過大評価する傾向にある。

図 7 は、初期時刻から 27 時間後である 8 月 18 日 1500 JST における WRF モデルによって計算された地上気温と地上風の水平分布である. 第 1 領域における名古屋市と春日井市、多治見市周辺の気温は 36-38 ℃である（図 7 上段左）。同時刻広範囲で西-北西よりの風が吹いている（図 7 上段右）。第 2 領域における多治見市と春日井市の気温は 36-38 ℃であり、第 1 領域では 35-36 ℃であった多治見市の気温が、水平格子間隔を 2.5 km から 0.5 km にダウンスケールすることによって 1 ℃程度高めに計算されてる（図 7 下段左）、多治見市と春日井市の周辺では西-南西の風が吹いている（図 7 下段右）。

1500 JST の気温と風の予測結果を観測値と比較する。同時刻に観測された地上気温と地上風の水平分布を、図 8 に示す。名古屋市では 36 ℃、多治見市では 38 ℃を超える気温が観測されている。第 1 領域の結果では名古屋市の約 37 ℃、多治見市内の気温は 35-37 ℃であり、WRF モデルは名古屋市において観測値を 1 ℃程度過大評価、多治見市において観測値を 1-3 ℃過小評価している（図 7 上段左 versus 図 8 上段左）。第 1 領域の地上風はおおむねあっている（図 7 上段右 versus 図 8 上段右）。多治見市と春日井市の気温は 37-38 ℃である。この結果は予測された気温 36-38 ℃に近い（図 7 下段 versus 図 8 下段）。WRF モデルは第 1 領域の多治見市において 1500 JST の気温を過小評価しているが、ダウンスケールした 第 2 領域においては観測された気温に近づいた。

5.2.3 時間変化

8 月 17 日の 0900 JST（予測実験の初期時刻）から 8 月 18 日の 2100 JST における名古屋市の地上気温の時間変化を、図 9（上）に示す。実線に示す WRF モデルの結果は第 2 領域の結果である。WRF モデルは夜から早朝（1600-2100 UTC）の時間帯に過大評価しているものの、それ以外の時間帯における気温を良好に予報できている。図 9（下）は多治見市における地上気温の時間変化である。WRF モデルは日没から日の出の数時間後にかけての時間帯（1000-2200 UTC）の気温を過大評価、日中の 0500、0600 UTC の気温を 1-2 ℃程度過小評価している。しかしながら、0600 UCT の過小評価は領域 2 の結果に比べて改善している。WRF モデルは多治見市における地上気温の日較差を過小評価する傾向にある。

6 おわりに

本マニュアルについて、間違いのご指摘やご質問がありましたら、下記までご連絡ください。
koji@ccs.tsukuba.ac.jp

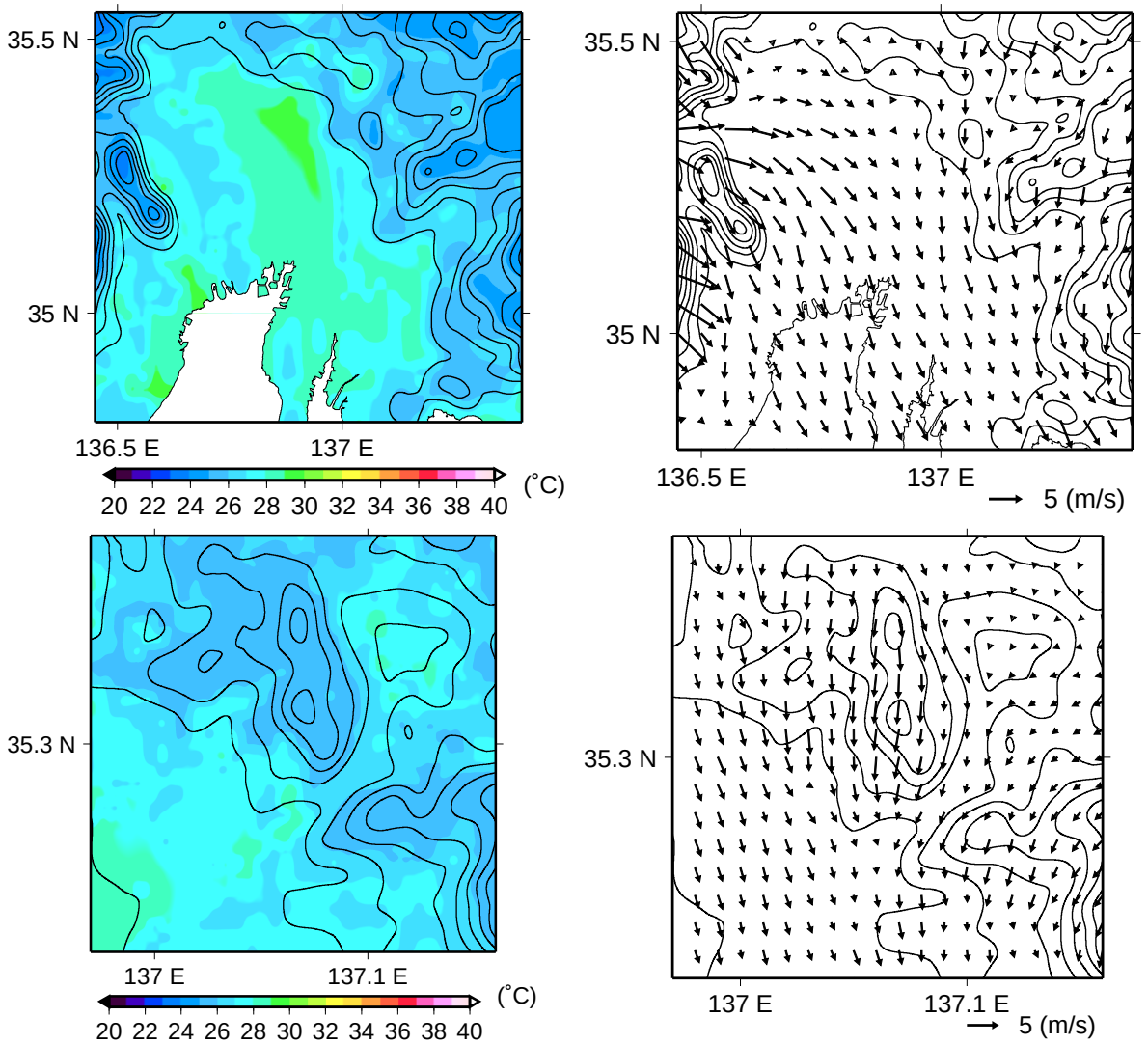

図 5: 2010 年 8 月 18 日の 0600 JST における WRF モデルによって計算された地上気温（左段）と地上風（右段）の水平分布. 上段は領域 1 の結果、下段は領域 2 の結果をそれぞれ示す.

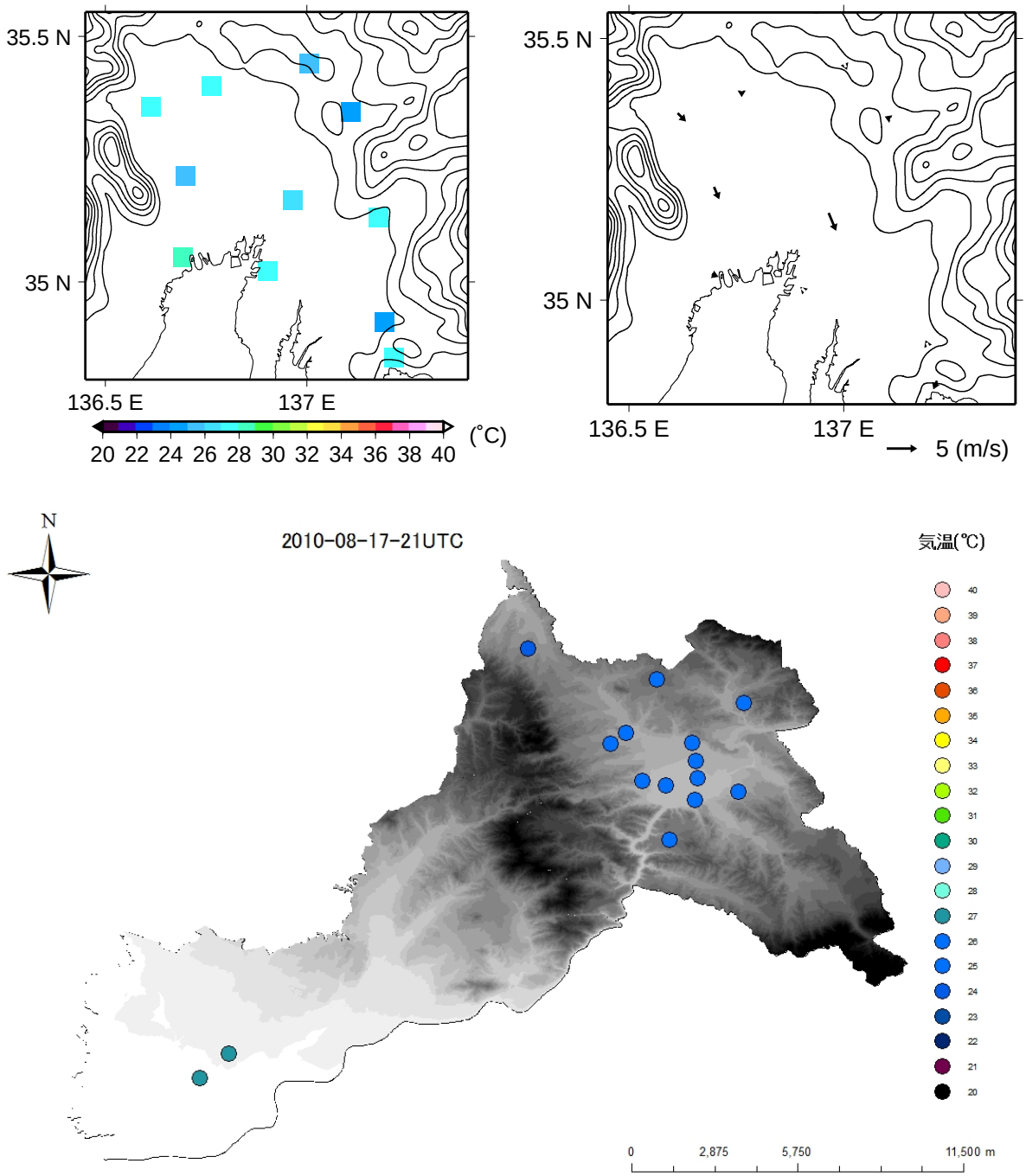

図 6: 2010 年 8 月 18 日の 0600 JST における観測された地上気温（左段）と地上風（右段）の水平分布．上段は領域 1 に相当する領域の結果、下段は多治見市と春日井市の結果をそれぞれ示す．

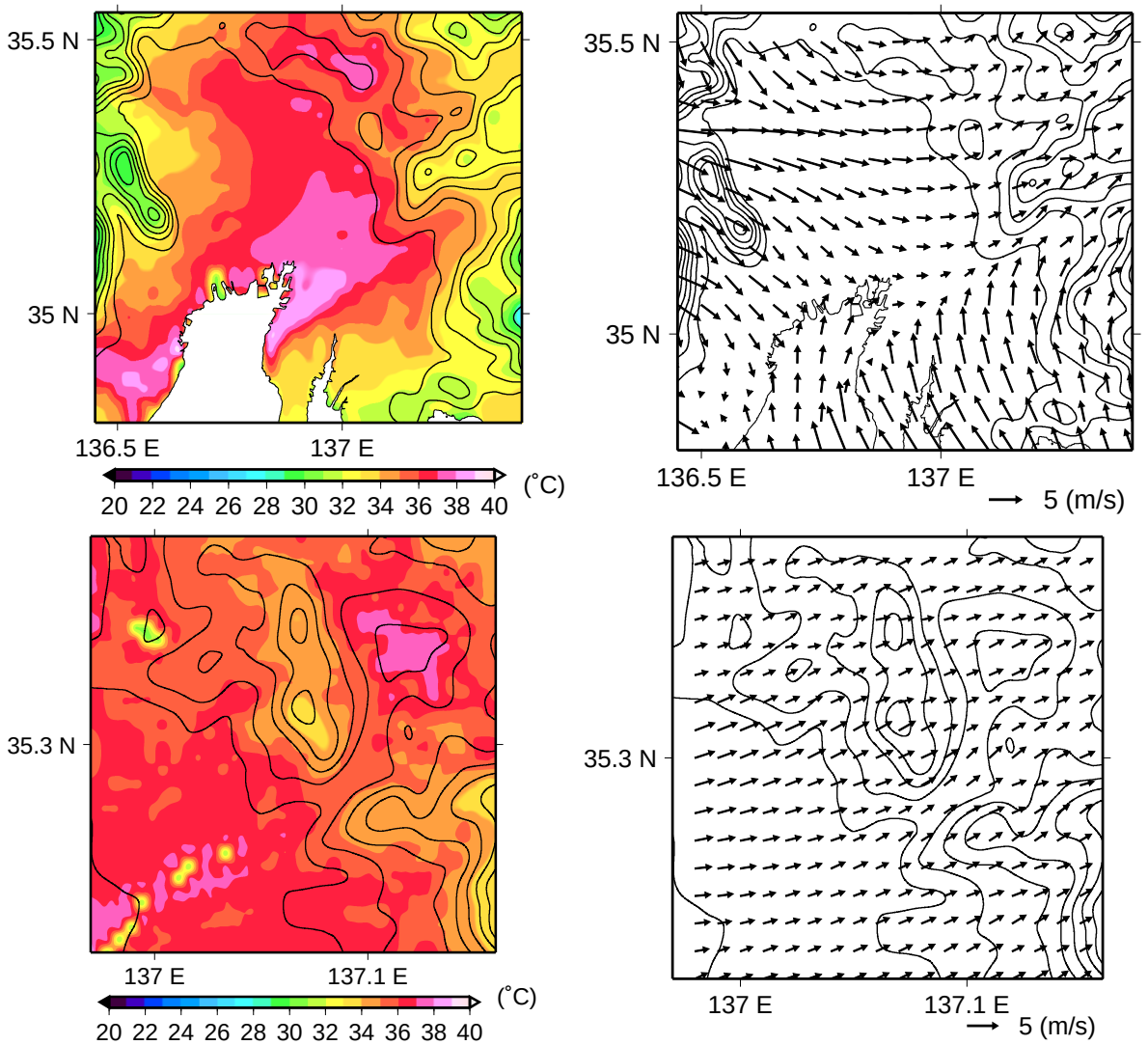

図 7: 図 5 と同図. ただし、2010 年 8 月 18 日の 1500 JST の結果.

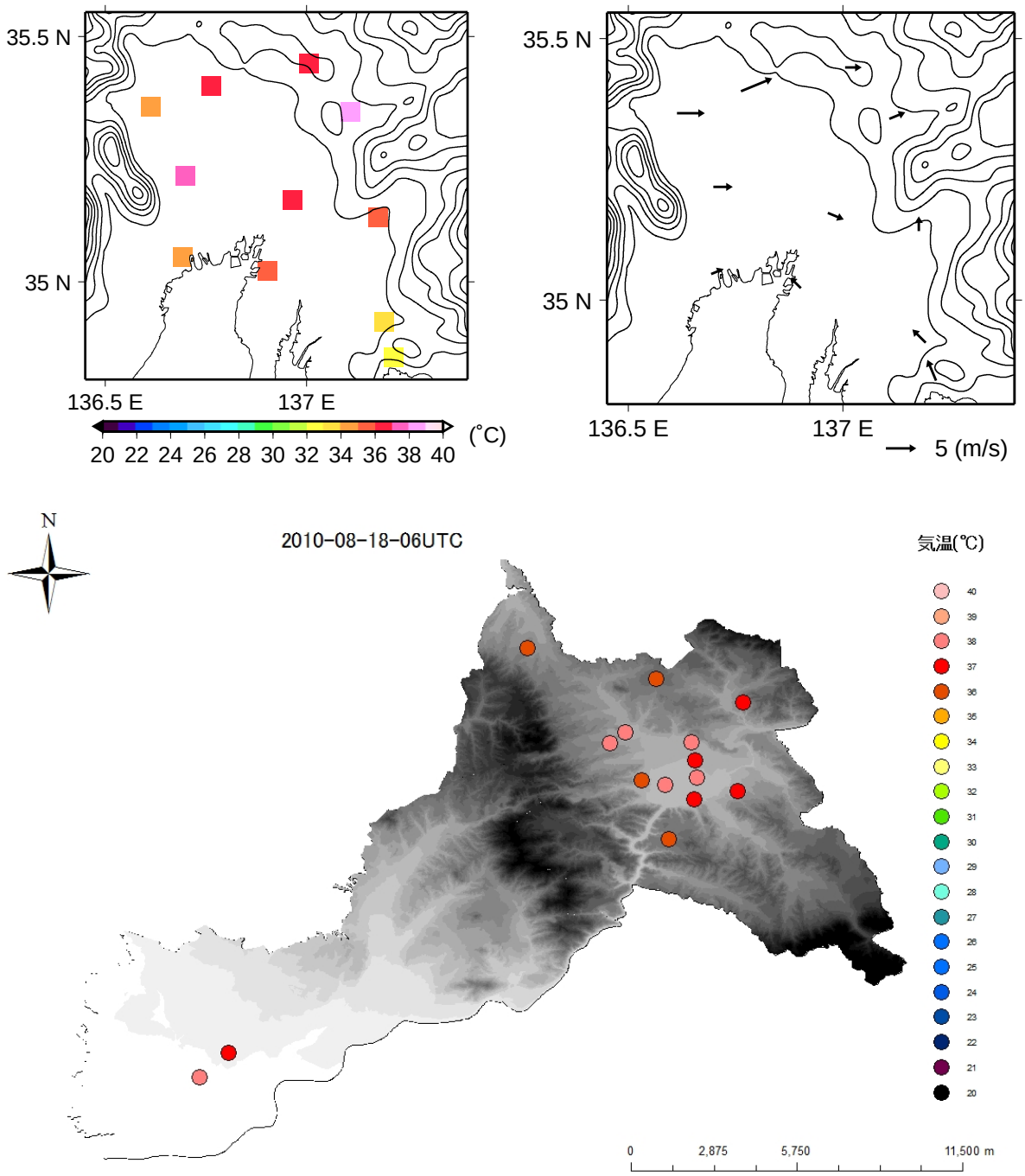

図 8: 図 6 と同図. ただし、2010 年 8 月 18 日の 1500 JST の結果.

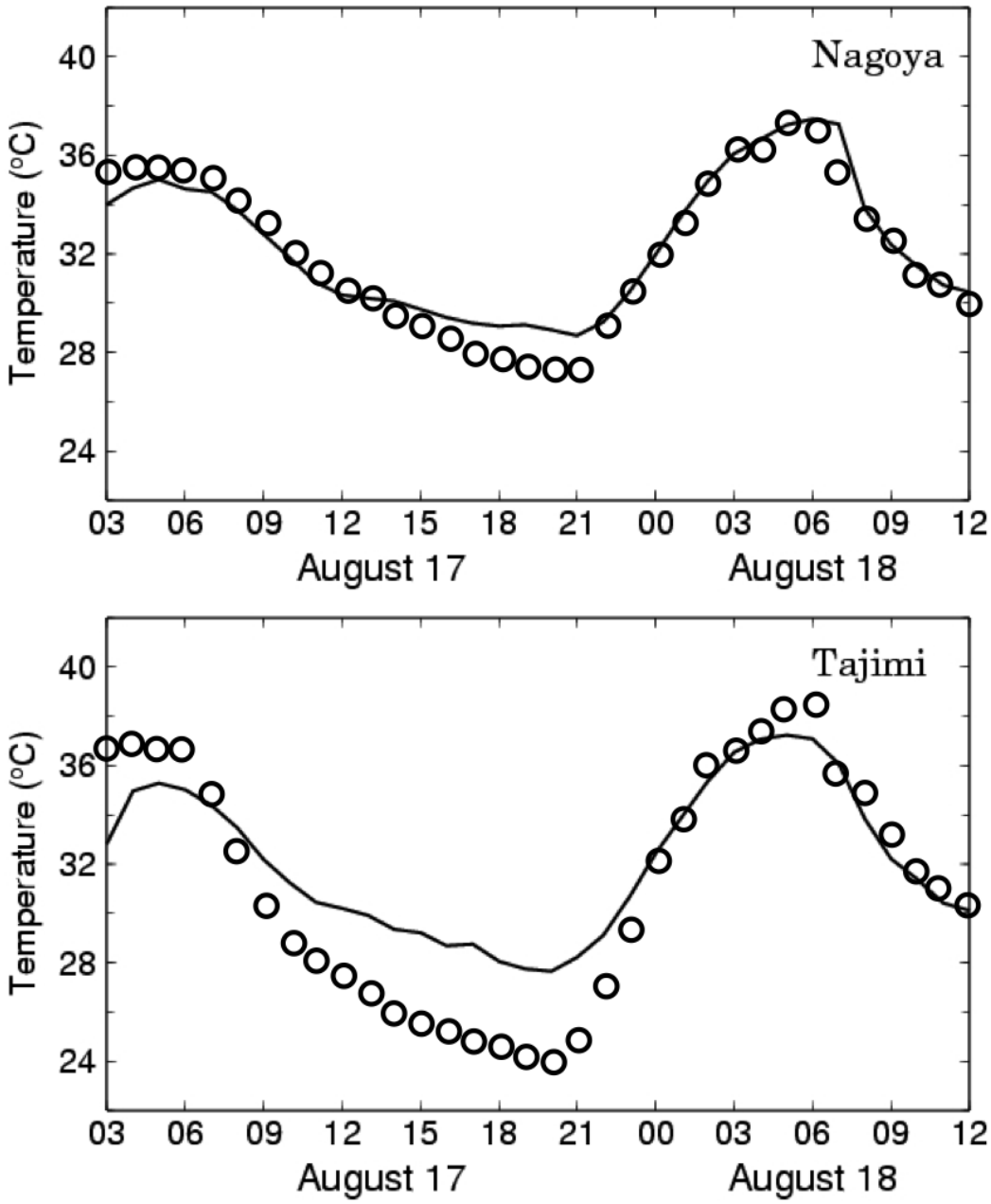

図 9: 2010 年 8 月 17 日 1200 JST から 18 日 2100 JST の名古屋（上）と多治見（下）における地上気温の時間変化. ◯は観測値、実線は計算値をそれぞれ示す.

参考文献

Chen, F. and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced land-surface/ hydrology model with the Penn State/ NCAR MM5 modeling system. Part1: Model description and implementation. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 569-585.

Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3077-3107.

Hong, S.-Y., Dudhia, and S.-H. Chen, 2004: A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 103-120.

Kusaka, H., H. Kondo, Y. Kikegawa, and F. Kimura, 2001: A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: Comparision with multi-layer and slab models. *Bound.-Layer Meteor.*, **101**, 329-358.

Kusaka, H., and F. Kimura, 2004: Coupling a single-layer urban canopy model with a simple atmospheric model: Impact on urban heat island simularion for an idealized case. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 67-80.

Mlawer , E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, **102**（D14）, 16663-16682.

Nakanishi, M., 2001: Improvement of the Mellor-Yamada turbulence closure model based on large-eddy simulation data. *Bound.-Layer Meteor.*, **99**, 349-378.

Nakanishi, M. and H. Niino, 2004: An improved Mellor-Yamada Level-3 model with condensation physics: Its design and verification. *Bound.-Layer Meteor.*, 112, 1-31.

Nakanishi, M. and H. Niino, 2006: An improved Mellor-Yamada Level-3 model: Its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog. *Bound.-Layer Meteor.*, **119**, 397-407.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers, 2008: A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR/ TN-475+STR, 126 pp.