

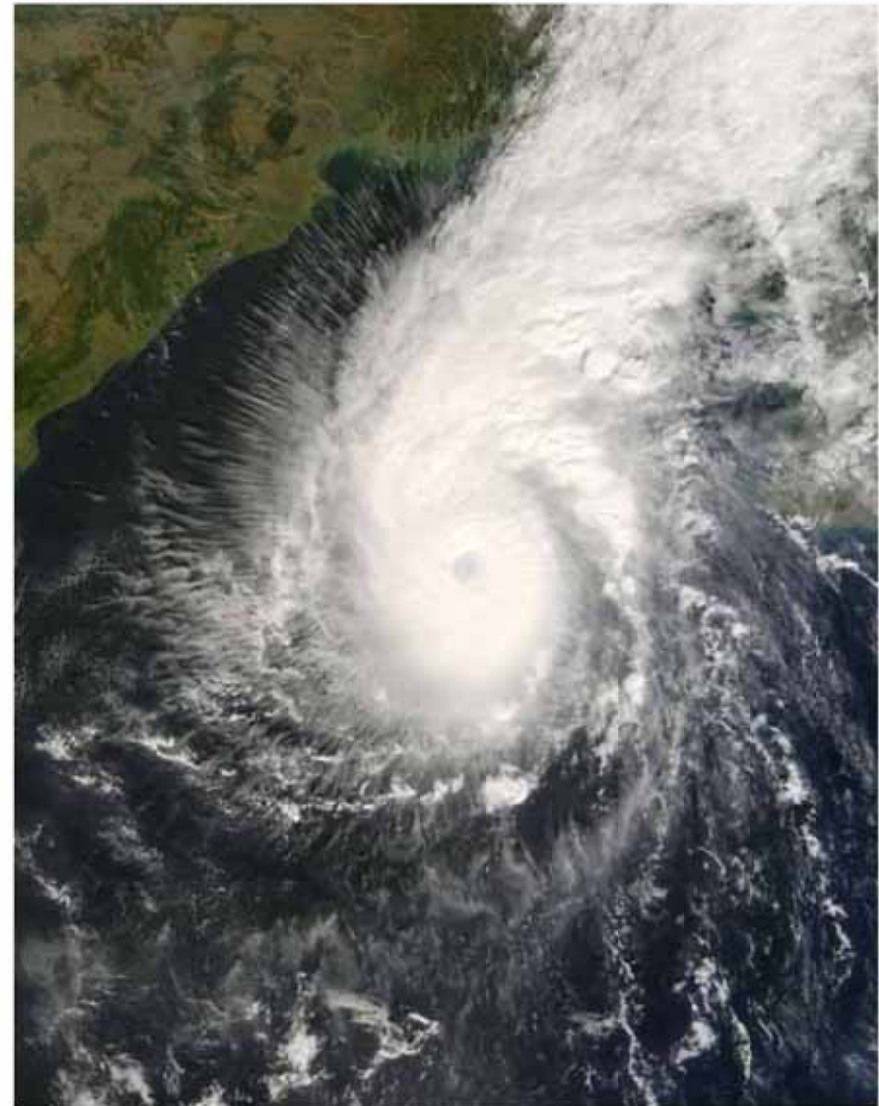
サイクロン シドル(SIDR)による高潮の 数値シミュレーションと被災の実態

安田誠宏

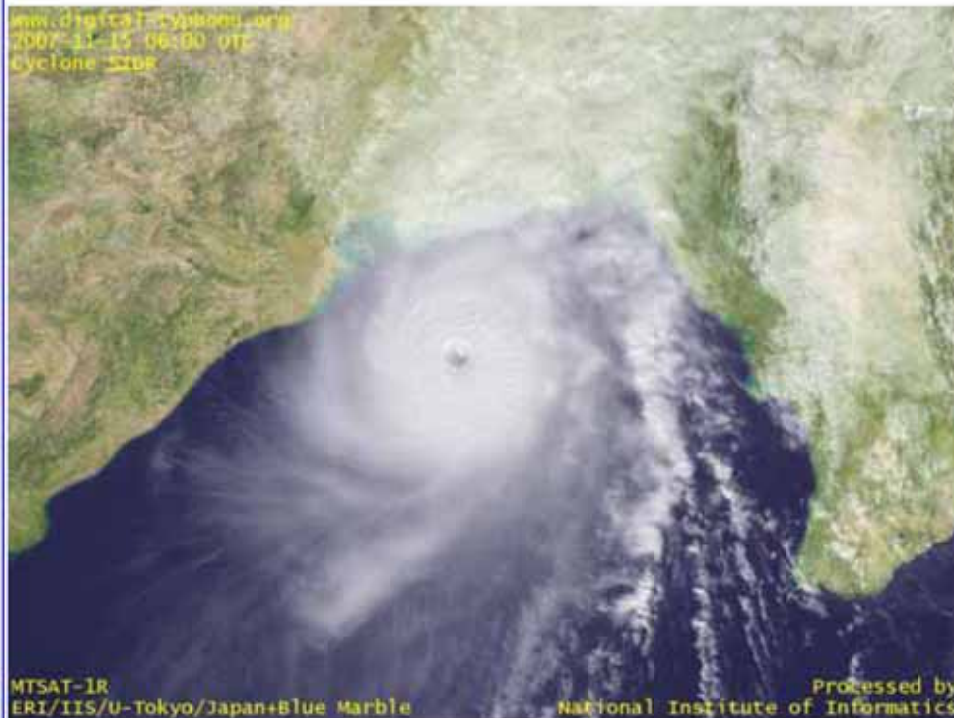
京都大学防災研究所

発表内容

- ↘サイクロン シドル(Sidr)の経路
- ↘熱帯低気圧モデルを用いた高潮シミュレーション(茨城大, 信岡先生)
- ↘GFS-WRF-SWAN&SuWATシステムによるシミュレーション
 - GFS-SWANによる波浪シミュレーション
 - GFS-WRF-SuWATによる高潮シミュレーション
- ↘主要な結論とリアルタイム高潮予測

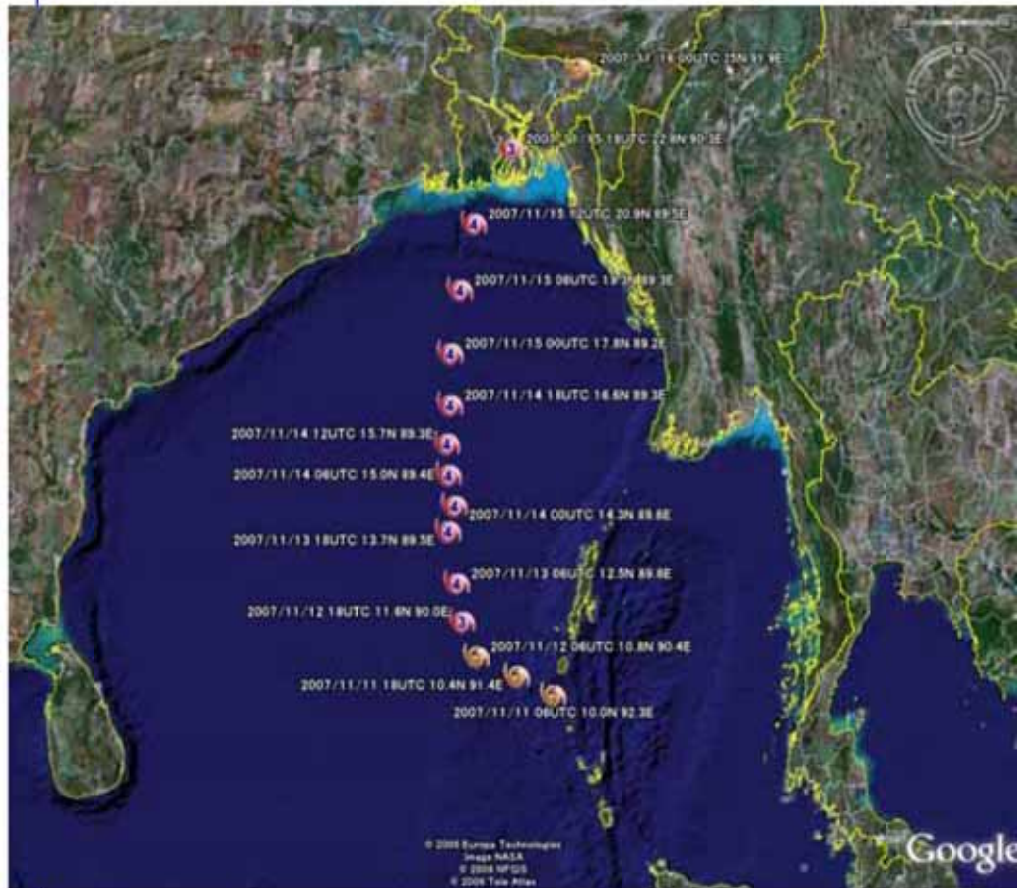


サイクロン シドル(Sidr)



発生期間:	2007年11月11日~11月16日
最大風速: (1分間平均)	250 km/h (155 mph)
最低気圧:	944 hPa
被害総額:	450 million (USD)
死傷者数:	≥ 4,000人
被害地域:	Bangladesh and West Bengal, India

サイクロン シドル(Sidr)の経路



Date	Time (GMT)	Lat (deg)	Lon (deg)	Wind (kt)	Cat.
11/11	6	10.00	92.30	35	TS
11/11	18	10.40	91.40	45	TS
11/12	6	10.80	90.40	55	TS
11/12	18	11.60	90.00	105	3
11/13	6	12.50	89.80	115	4
11/13	18	13.70	89.50	115	4
11/14	0	14.30	89.60	115	4
11/14	6	15.00	89.40	120	4
11/14	12	15.70	89.30	130	4
11/14	18	16.60	89.30	130	4
11/15	0	17.80	89.20	130	4
11/15	6	19.30	89.30	135	4
11/15	12	20.90	89.50	130	4
11/15	18	22.80	90.30	105	3
11/16	0	25.00	91.90	60	TS

サイクロン ボーラ(Bhola) in 1970



発生期間:	1970年11月7日～11月13日
最大風速: (1分間平均)	205 km/h (130 mph)
最低気圧:	966 hPa
被害総額:	8,640万USD, 2007年の貨幣価値換算で46,000万USD
死傷者数:	30万～50万人が死亡 (史上最悪のサイクロン被害)
被害地域:	インド、東パキスタン

サイクロン シドル(Sidr)の軌道と上陸地点

軌道と中心気圧

- Advisory Report of Indian Metrological Department
Tropical cyclone 'Sidr' advisory
- Joint Typhoon Warning Center
Tropical Cyclone Warning WTIO31

上陸地点と時間

- OCHA :

Cyclone SIDR Bangladesh Situation Report No. 2 17 November 2007

18:30(バンングラデシュ時刻) 沖の島を通過

20:30(バンングラデシュ時刻) 上陸 [UTC 14:30]

‘上陸地点 : Hiron Point, サンダーバンやDublar Char島付近

風と気圧場の計算1

Myersの熱帯低気圧モデル

$$P(r) = P_c + \Delta p \cdot \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)$$

台風半径 r_0 : 加藤 (2005)の台風を用いた経験式

$$r_0 = \begin{cases} 0.77 * P_c - 651 (P_c < 950hPa) \\ 1.63 * P_c - 1471 (P_c > 950hPa) \end{cases}$$

→高潮の感度分析を行い、上の式で算出される値を
0.8倍して使用

加藤史訓(2005):高潮危険度評価に関する研究, 国総研資料, 第275号, p.10.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0275.htm>

風と気圧場の計算2

風の計算: Super Gradient Wind (藤井・光田, 1986) を利用

$$\frac{U_{gr}^2}{r_t} + fU_{gr} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad \frac{1}{r_t} = \frac{1}{r} \left(1 + \frac{C}{U_{gr}} \sin \alpha \right)$$

$$U_{10} = GU_{gr}$$

$$G(x) = G(\infty) + \left\{ G(x_p) - G(\infty) \right\} \left(\frac{x}{x_p} \right)^{k-1} \cdot \exp \left[\left(1 - \frac{1}{k} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{x_p} \right)^k \right\} \right]$$

U_{gr} : FFW (Friction-free wind)

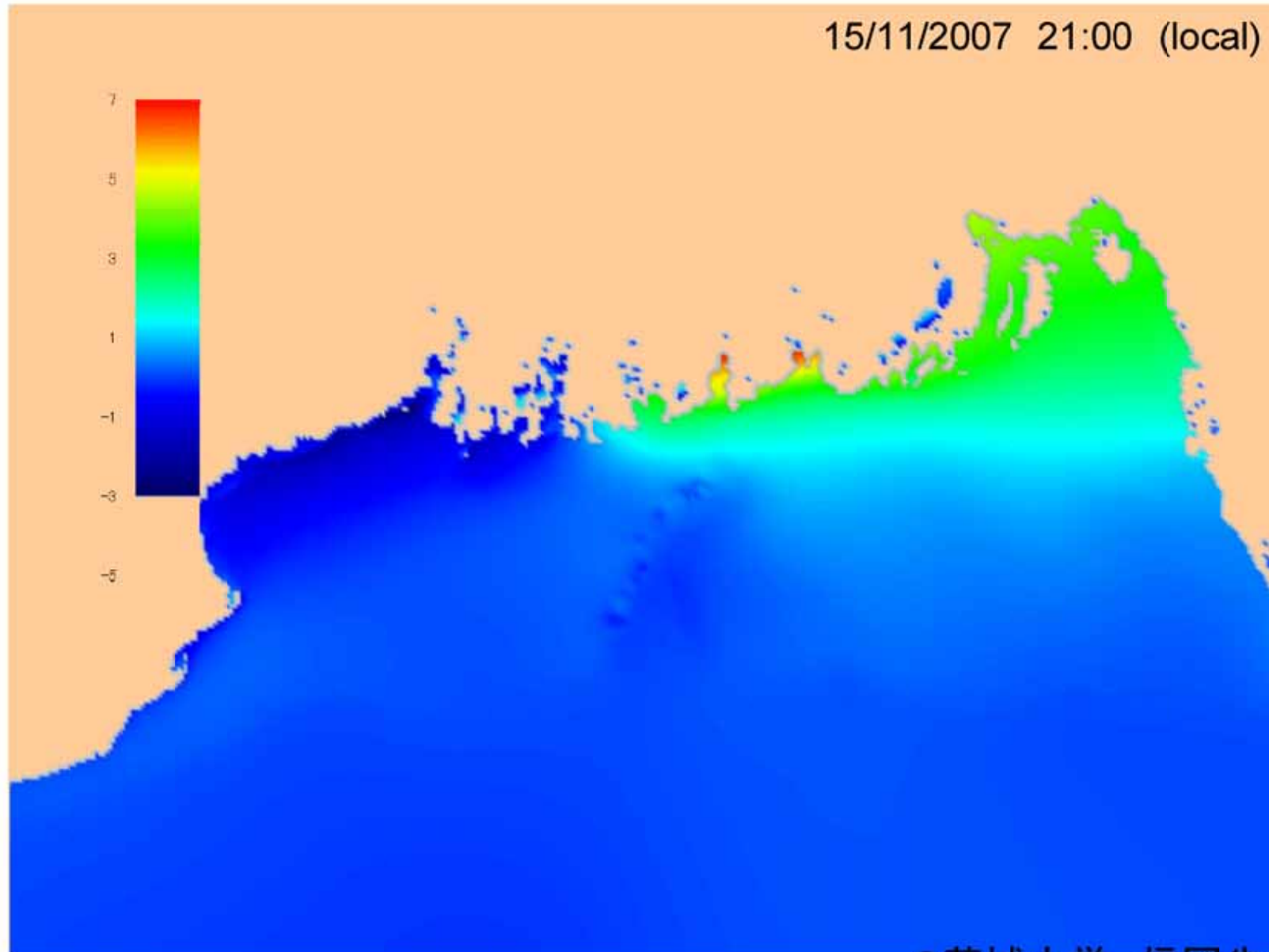
$$G(\infty) = 2/3 \sim 0.6667$$

$$k = 2.5$$

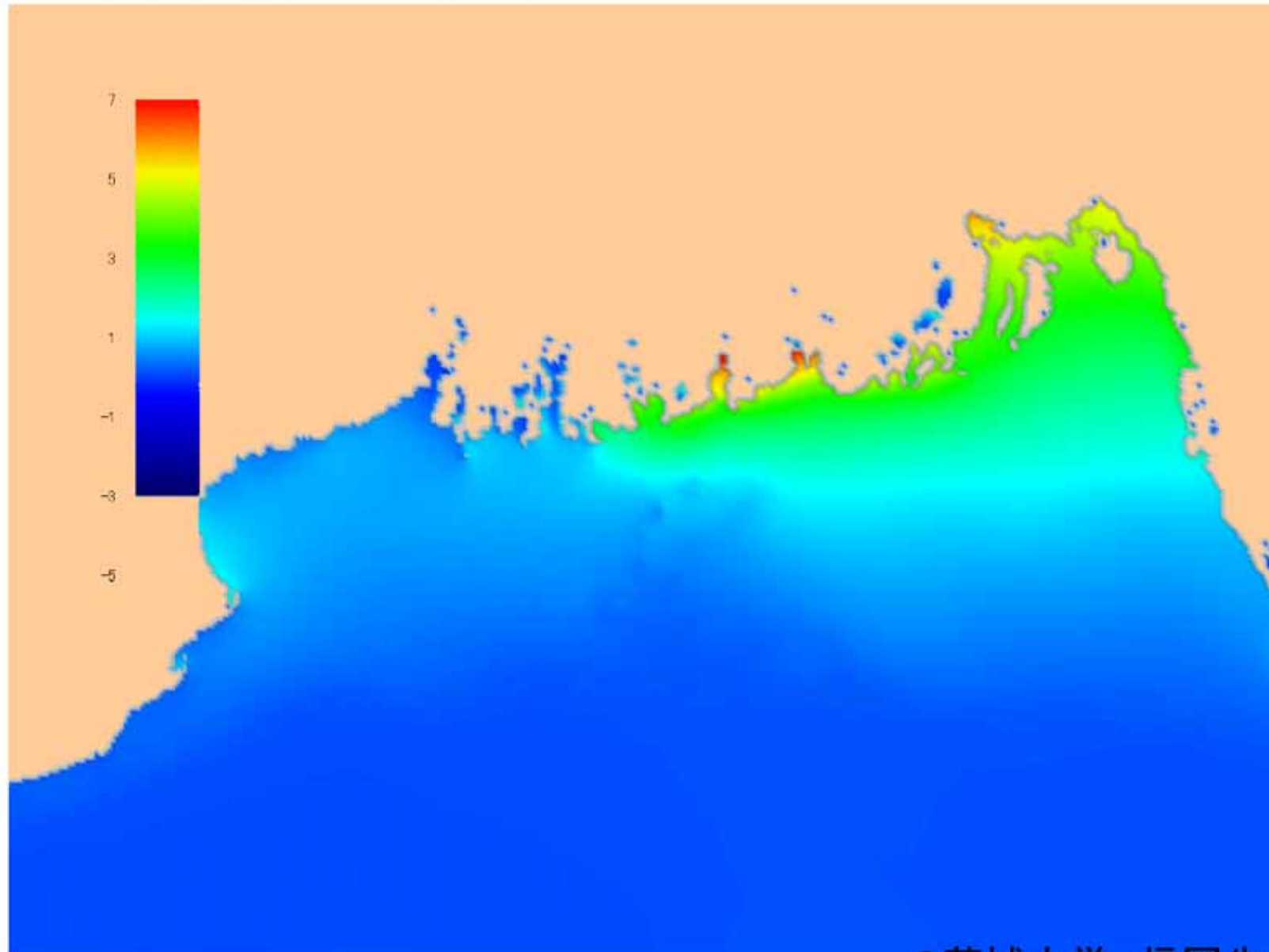
$$x_p = 0.5$$

藤井・光田(1986): 台風の高率モデルの作成とそれによる強風シミュレーション,
京都大学防災研究所年報, No.29, B-1, No.29, pp.229-239.

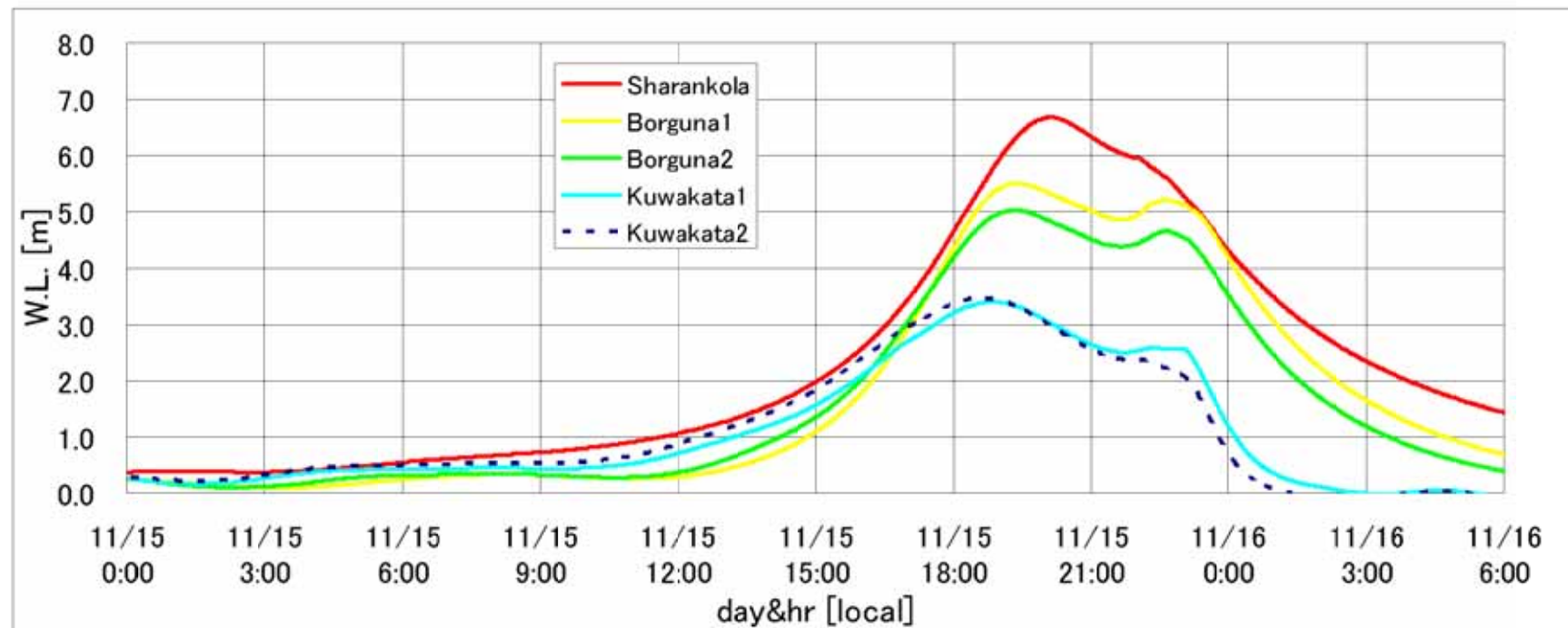
SIDRによる高潮のアニメーション



最大高潮偏差の分布



高潮偏差の時間変化

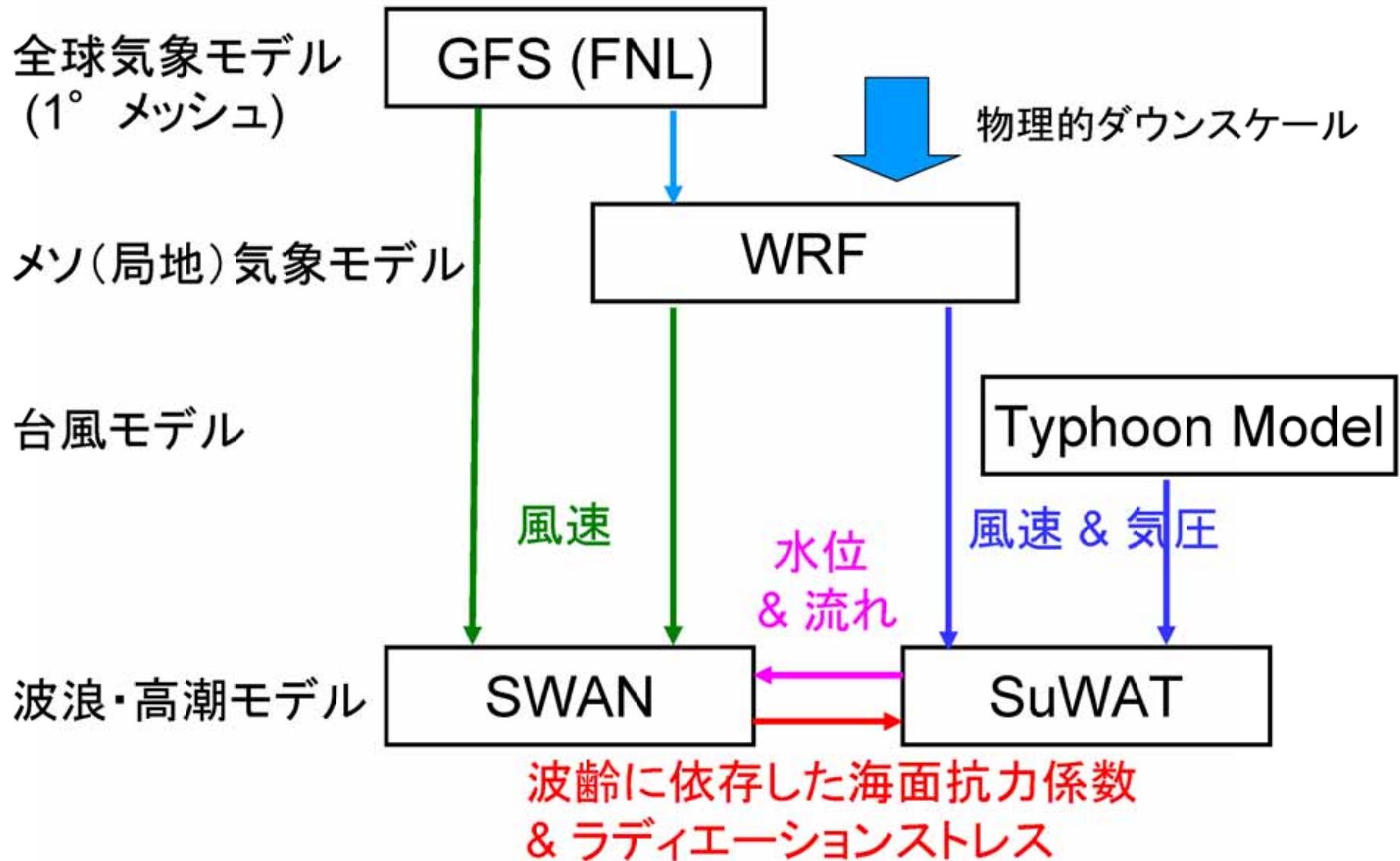


Sarankhola: 6.5m

Borguna: 5.0m

Kuwakata: 3.5m

GFS-WRF-SWAN&SuWAT システム

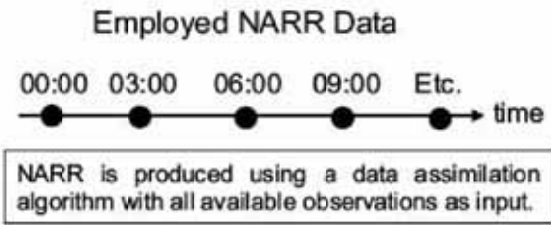


再解析気象データ

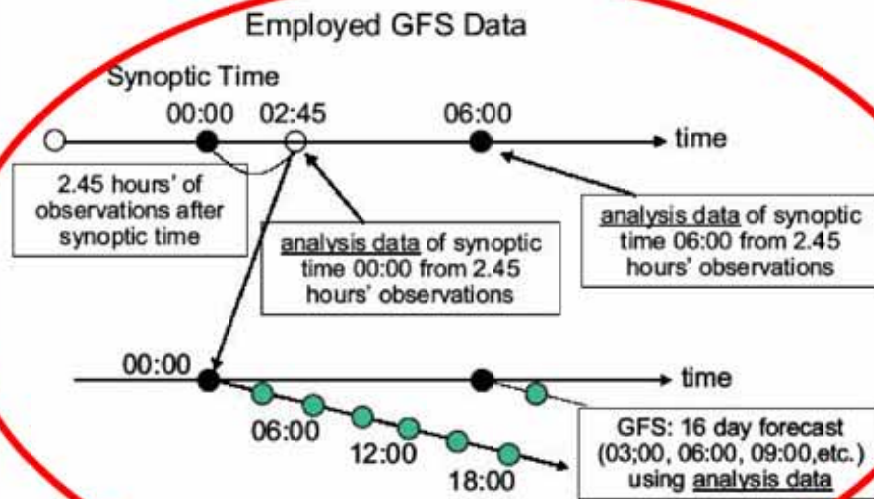
(a) NARR (North American Regional Reanalysis)

(b) **GFS** (Global Forecast System) by NCEP

(c) **FNL** (Final Analysis) by NCEP

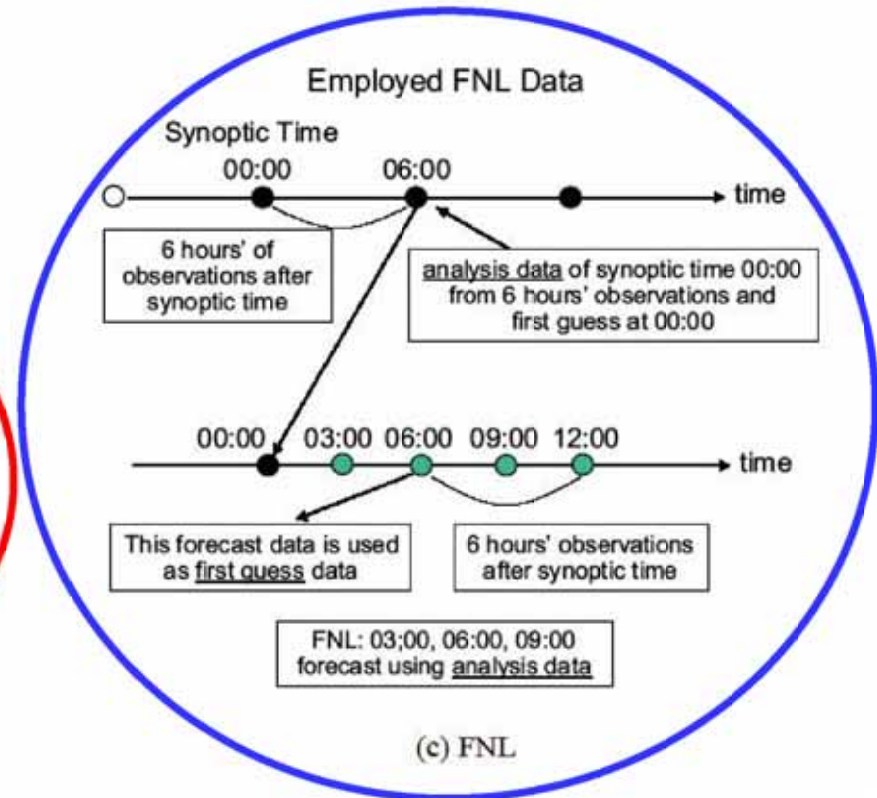


(a) NARR



(b) GFS

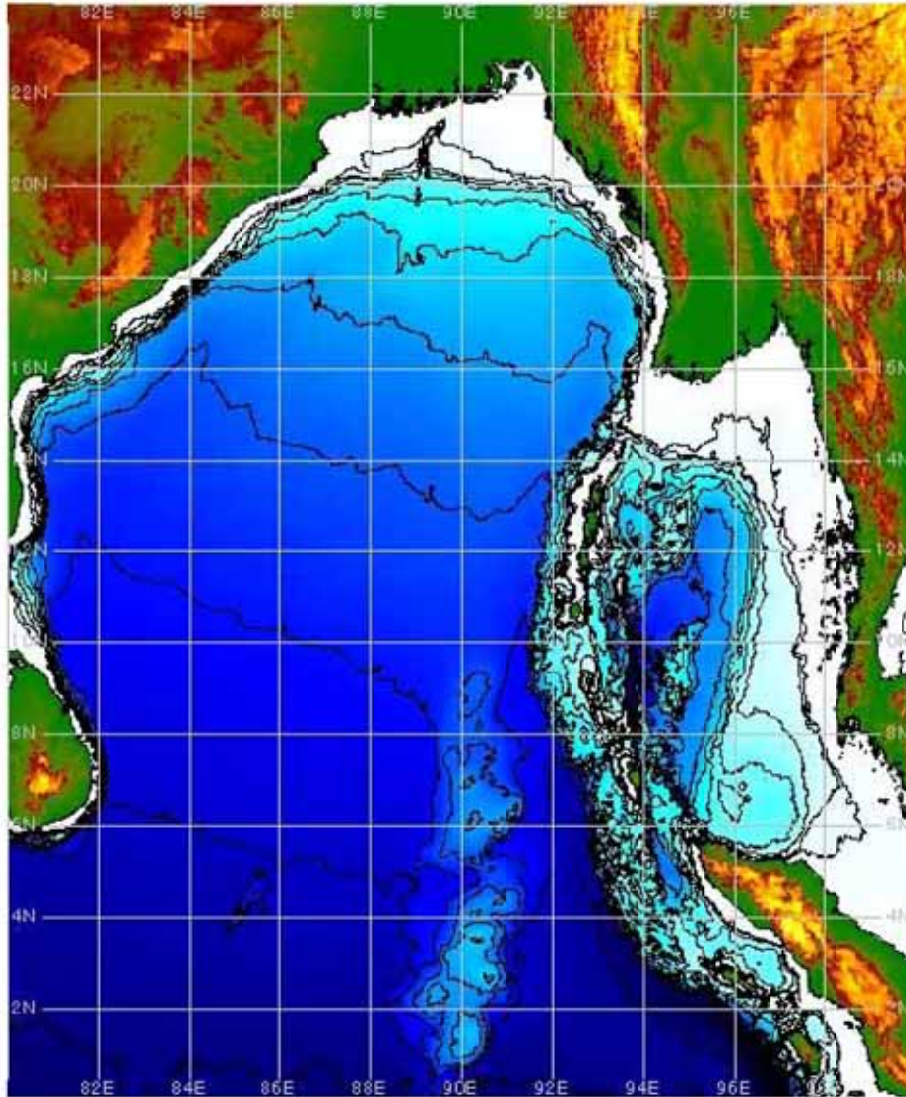
予報値



(c) FNL

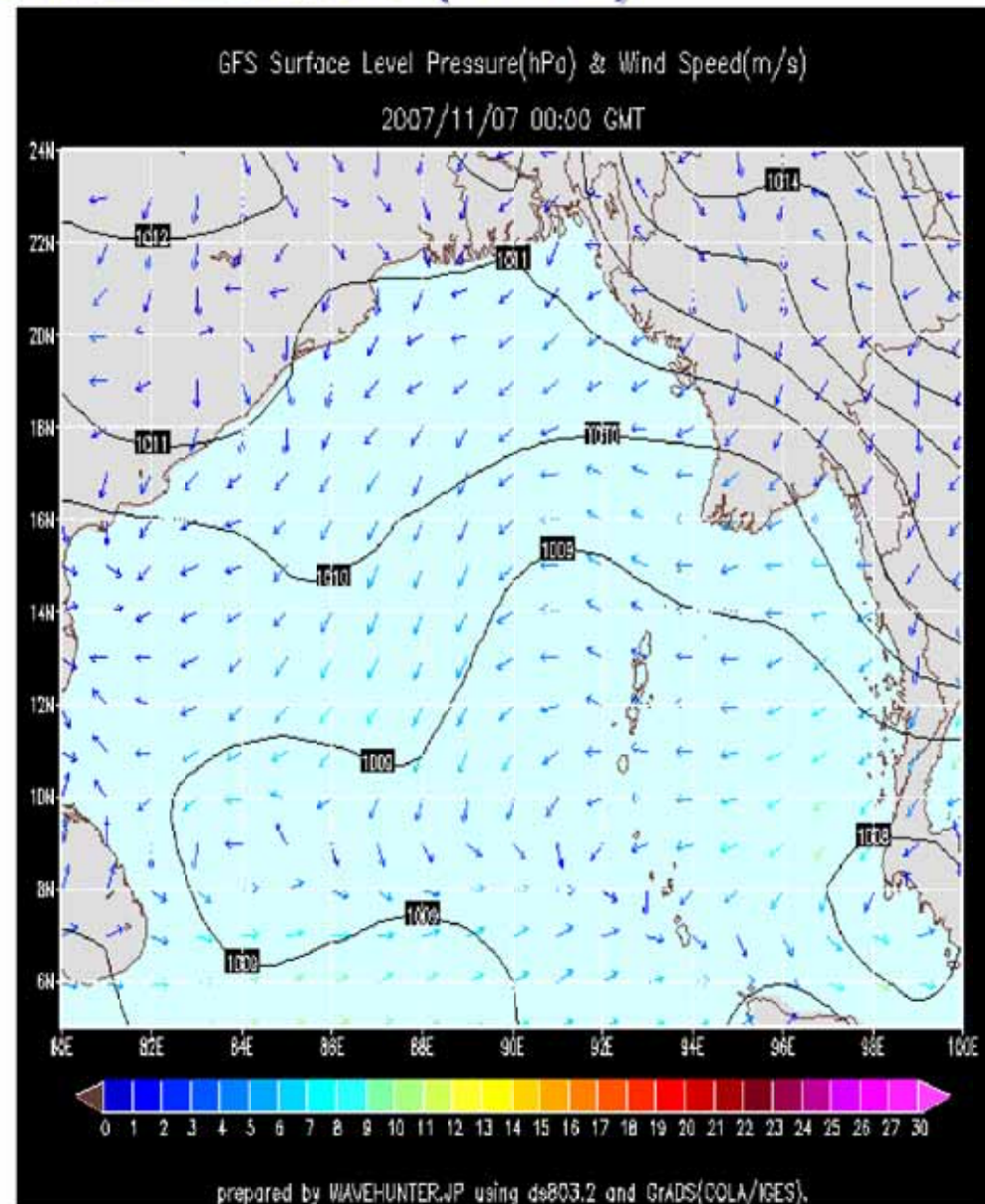
再解析値

解析領域および解析条件

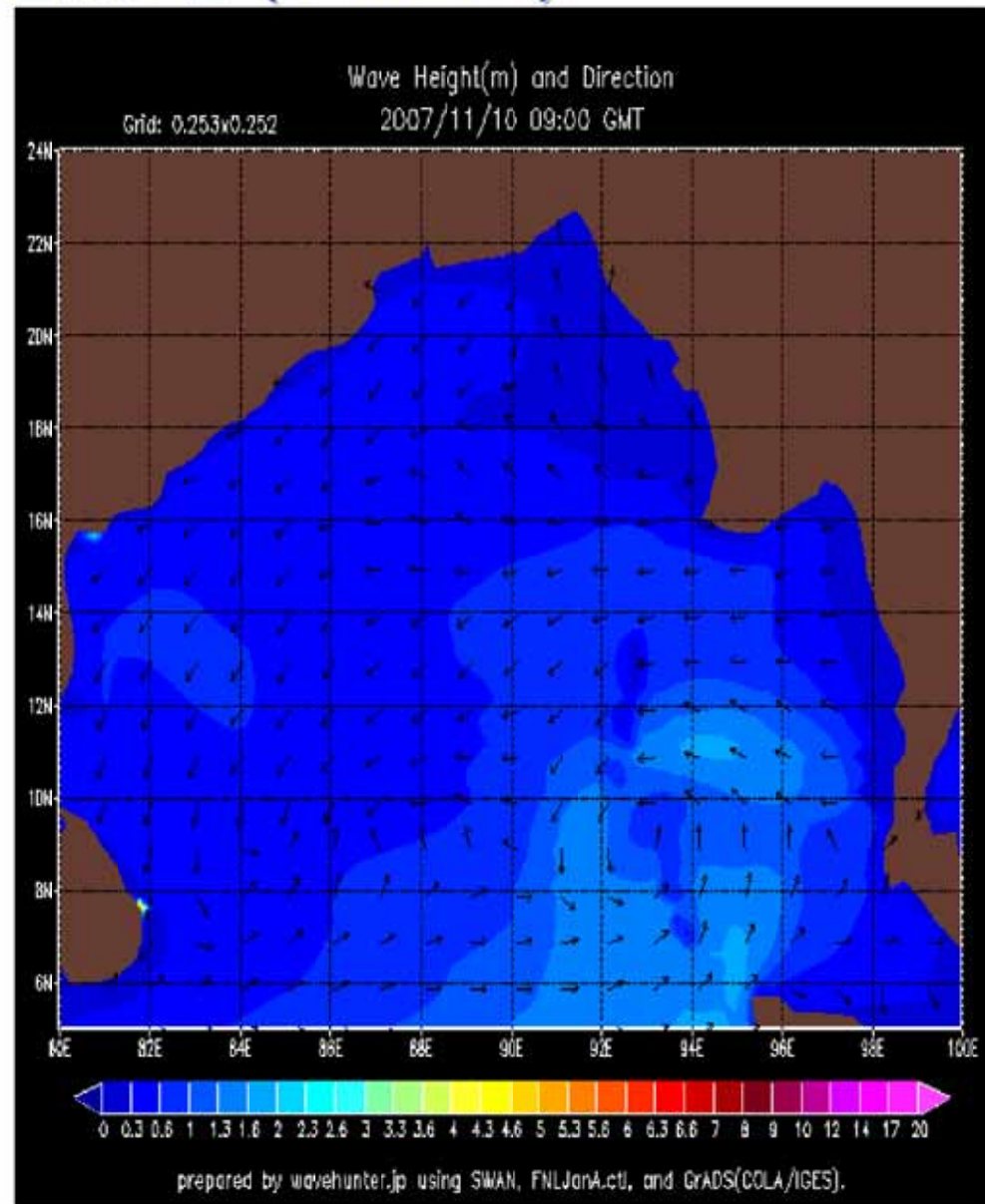


- ▶ SWAN 40.51による波浪のシミュレーション
- ▶ 入力条件
 - FNL風速(6時間毎)
- ▶ 解析条件
 - 0 ~ 24N, 80 ~ 100E
 - $\Delta x = \Delta y = 2$ minutes (BODC)
 - $\Delta t = 300$ sec
 - Frequency: 0 ~ 0.5Hz

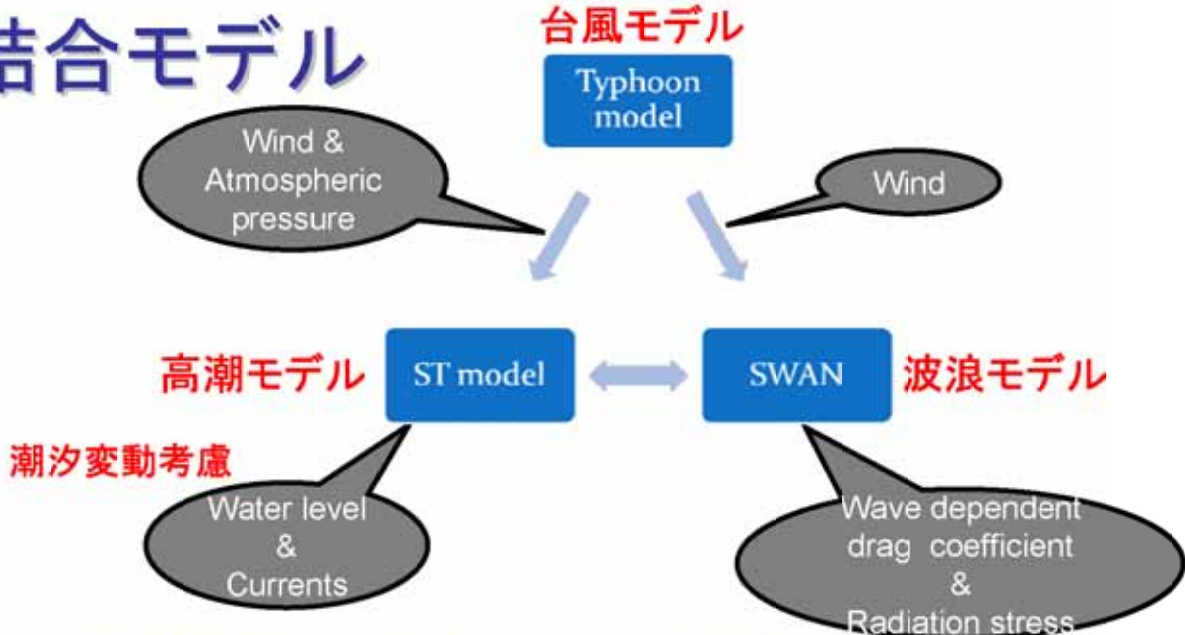
海面更正気圧と風速 (FNL)



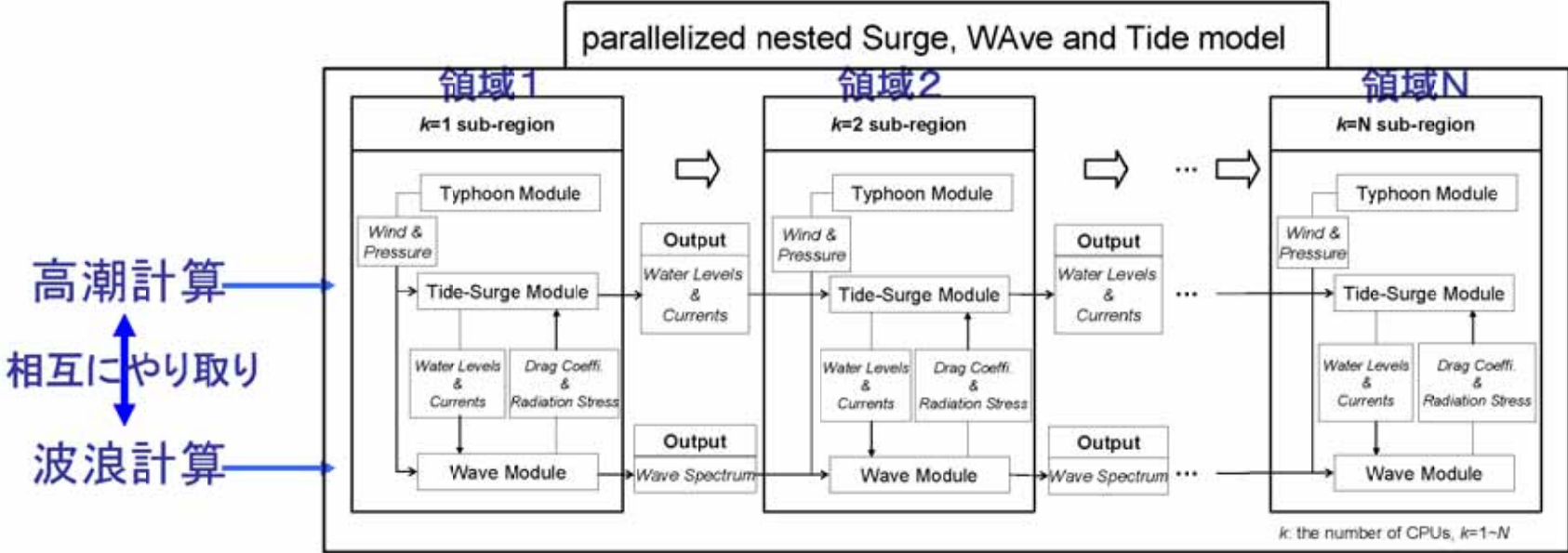
有義波高と波向 (SWAN)



潮汐-高潮-波浪結合モデル



パラレルマルチネスティング: 異なる領域でもネスティング可能



潮汐・高潮モデル

非線形長波近似モデル

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{d} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{d} \right) + gd \frac{\partial \eta}{\partial x} = fN - \frac{1}{\rho} d \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (\tau_s^x - \tau_b^x + F_x) + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{NM}{d} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{d} \right) + gd \frac{\partial \eta}{\partial y} = -fM - \frac{1}{\rho} d \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\rho} (\tau_s^y - \tau_b^y + F_y) + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right)$$

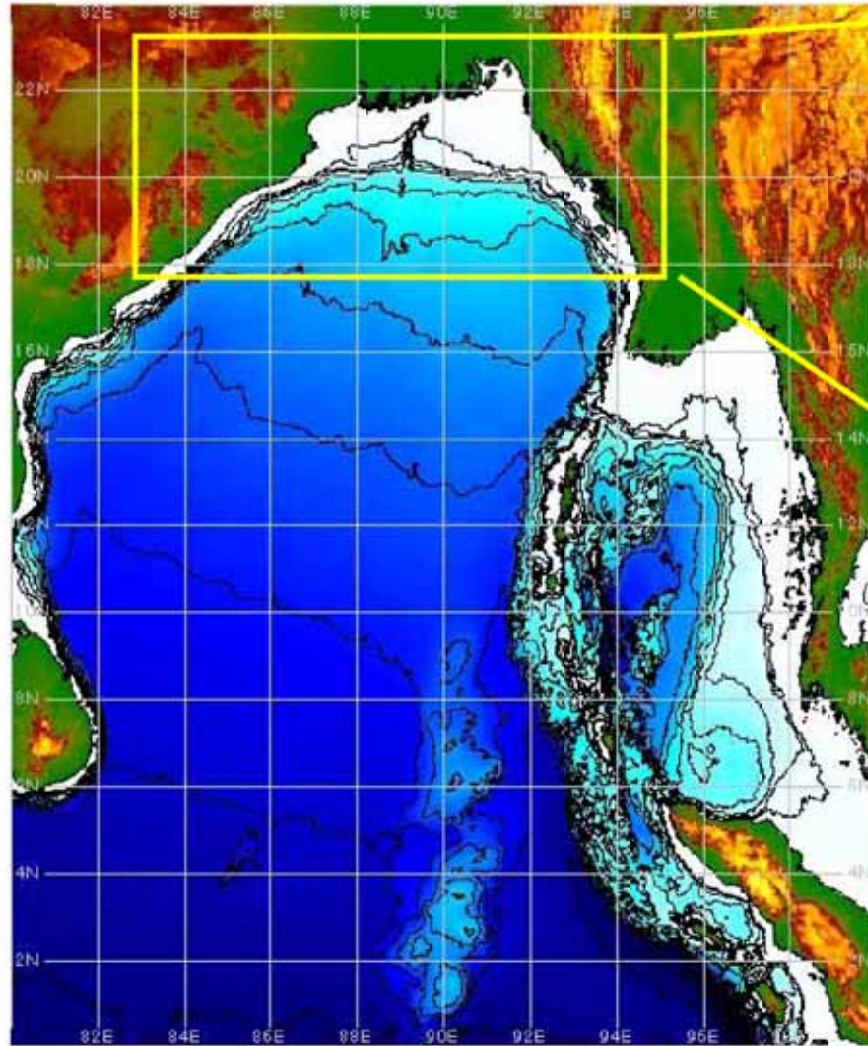
- h : the sea surface elevation,
 M and N : the depth integrated currents in x and y ,
 d : $h + \eta$, the total water depth,
 g : the gravitational acceleration,
 f : the Coriolis parameter,
 P : the atmospheric pressure,
 A_h : the horizontal eddy diffusion,
 ρ : the density of water,
 F_x and F_y : the radiation stress,
 τ_s : the wind stress,
 τ_b : the bottom stress ($\tau_b = \rho_w g n^2 \frac{U|U|}{d^{7/3}}$).

1 hPa = 1 cm

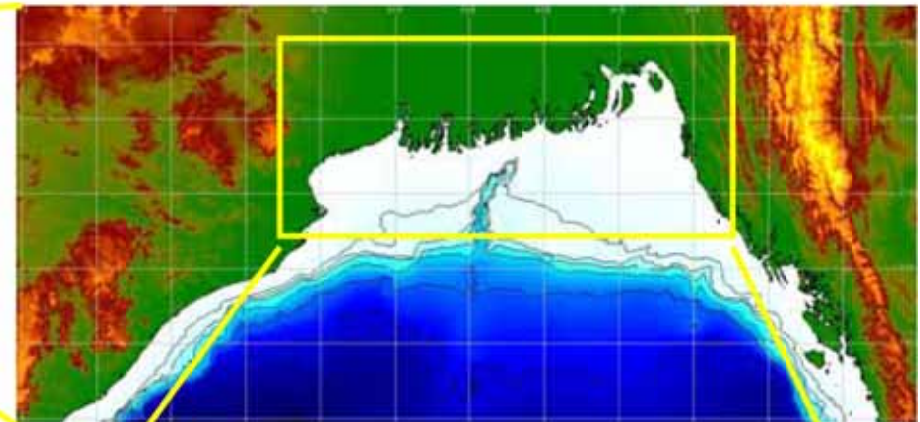
calculated by the
wave model

calculated by the
wave model

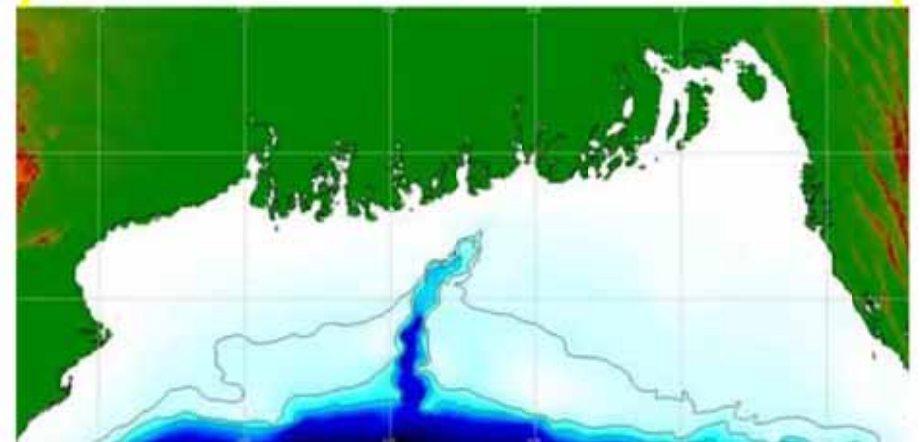
解析領域(領域ネステイング)



1st region 6min
0~24N, 80~100E



2nd region 3min
18~23.5N, 83~95E

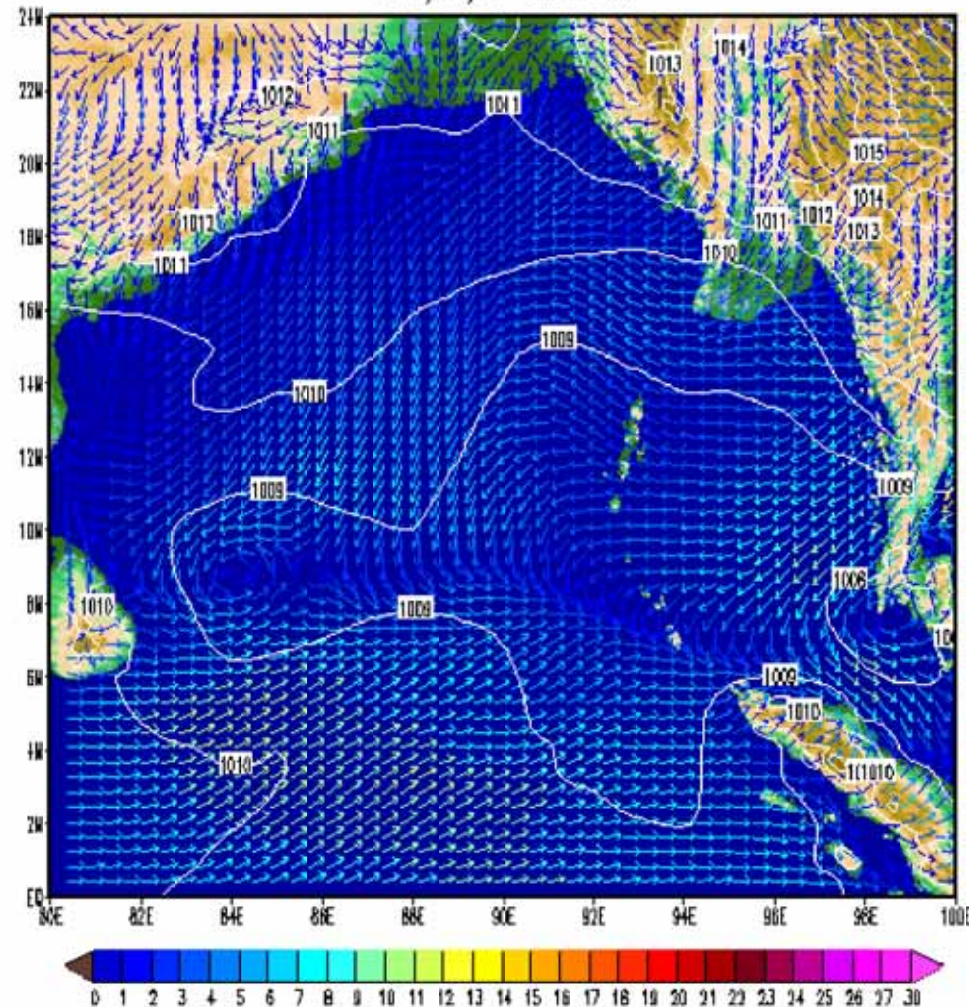


3rd region 1min
21~23N, 86.5~92.5E

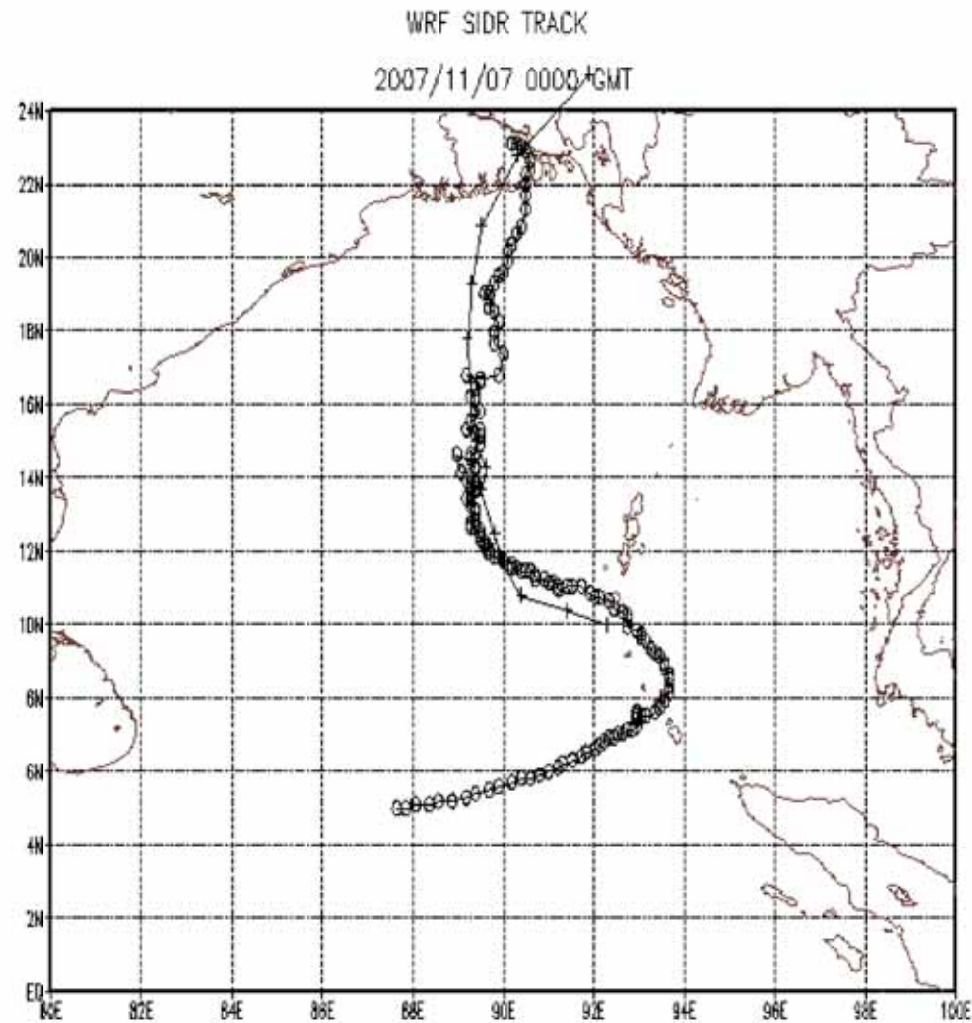
海面更正気圧と10m風速 (WRF)

WRF Surface Level Pressure(hPa) & 10m Wind Speed(m/s)

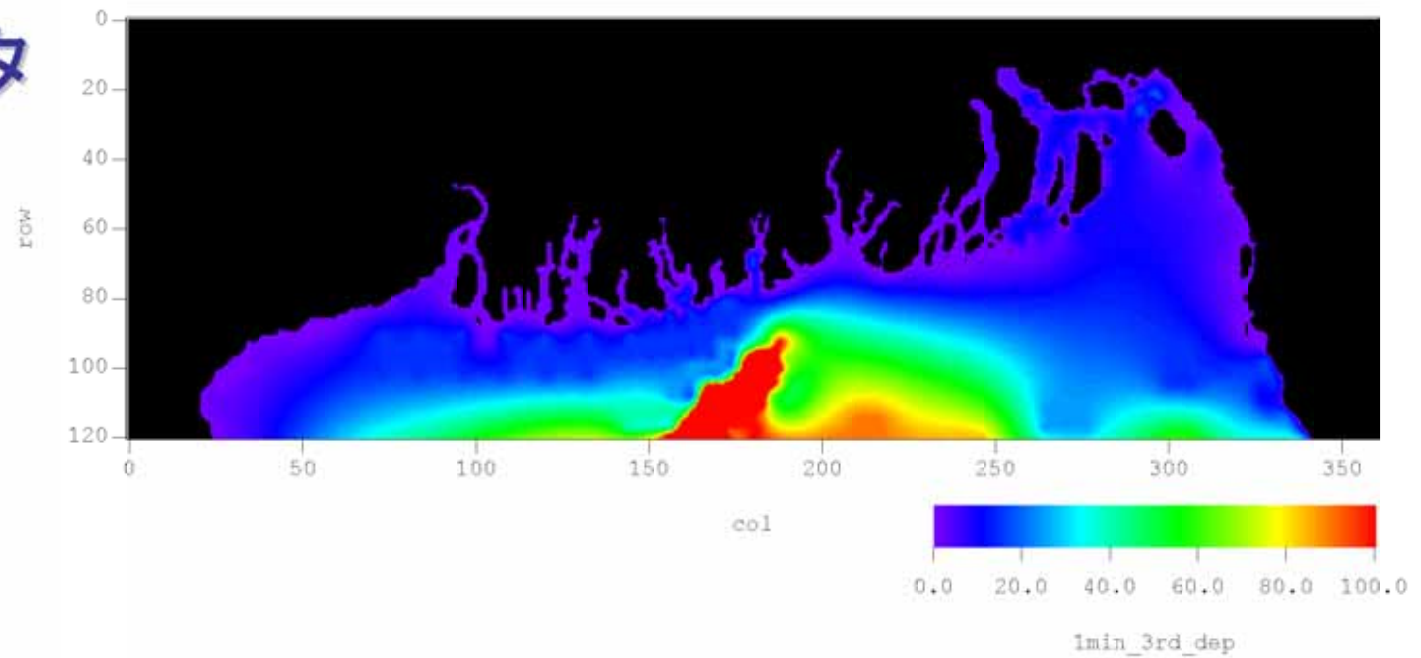
2007/11/07 00:00 GMT



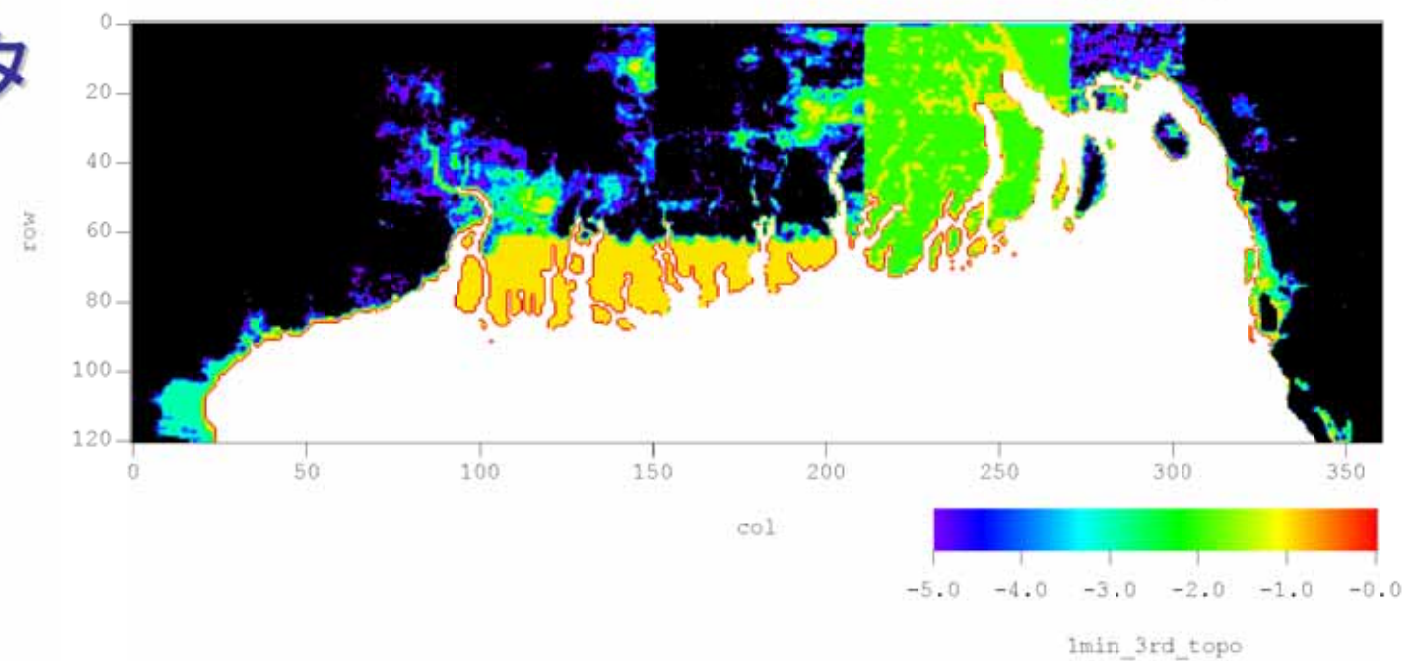
WRF計算結果とJTWCによる経路の比較



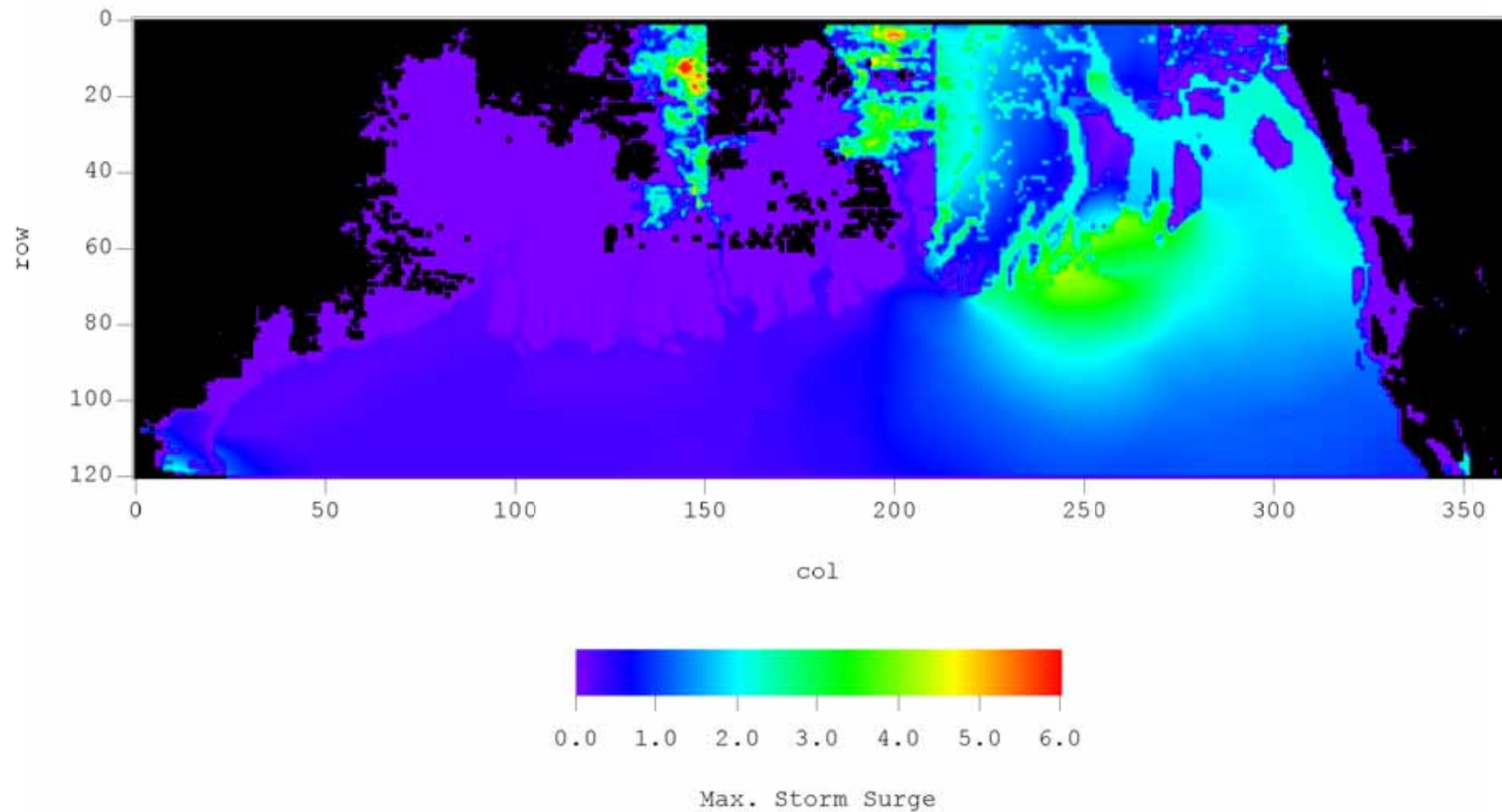
水深データ



標高データ



SuWATによる高潮シミュレーション結果 (高潮のみ)



主な結論

- ✦ 熱帯低気圧モデルと気象モデルの2通りで風・気圧場を計算し、高潮シミュレーションの入力条件とした。

- ✦ 熱帯低気圧モデル
 - 経路: JTWC
 - 気圧場: Myers, 風速場: Fujii and Mitsuta (SGW)
 - 最大風速半径 r_0 : 加藤らの式をチューニング→ Sarankhola: 6.5m, Borguna: 5.0m, Kuwakata: 3.5m

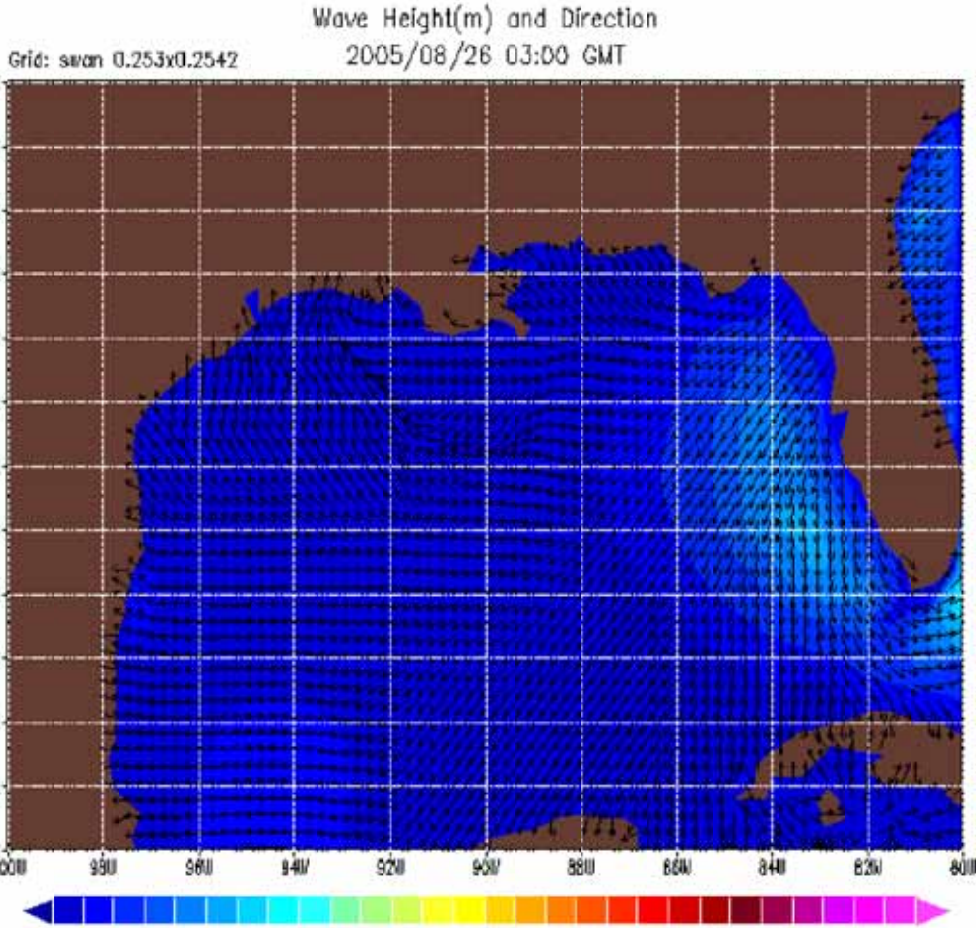
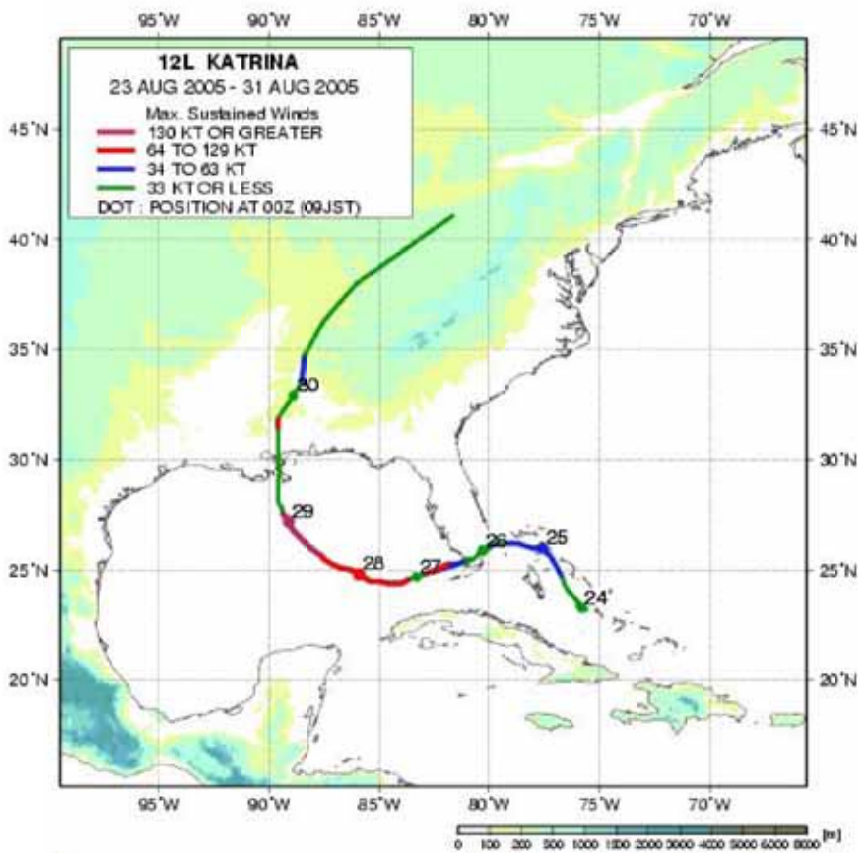
- ✦ 気象モデル
 - NCEP気象データ(FNL)を外力とし、波浪モデル(SWAN)で波浪を解析→ 有義波高 $H_{1/3}$ 3~5m
 - WRFによって気圧・風速場をダウンスケーリングし、高潮・波浪結合モデル(SuWAT)で高潮を解析→ 浸水解析の結果, 地盤上 3~6m

今後の課題とリアルタイム高潮予測

- ✦ 波浪・高潮結合モデルは計算コストが掛かるため、計算実行中
→ 高潮のみの解析結果より、高潮が約+1~2m高くなる
- ✦ リアルタイム高潮予測
 - **熱帯低気圧モデル**はパラメータのチューニングに専門家の経験的知識が必要、最大風速半径 r_0 の設定が難しい。
 - 安全側の大きめの予報値としては使える？
 - **気象モデル**の予報値をGFS-WRF-SuWATシステムの入力条件とすることで、高潮予測計算をすることができる
 - 1° メッシュのGFSデータは、高潮計算には粗すぎる。
 - メソ気象モデル(WRF)によるダウンスケーリングが必要だが、計算コスト負荷をどうクリアするか、並列計算機が必須か？

ご静聴ありがとうございました

Wave simulation results of Hurricane Katrina



prepared by wavehunter.jp using SWAN, GFS, and GrADS(COLA/IGES).

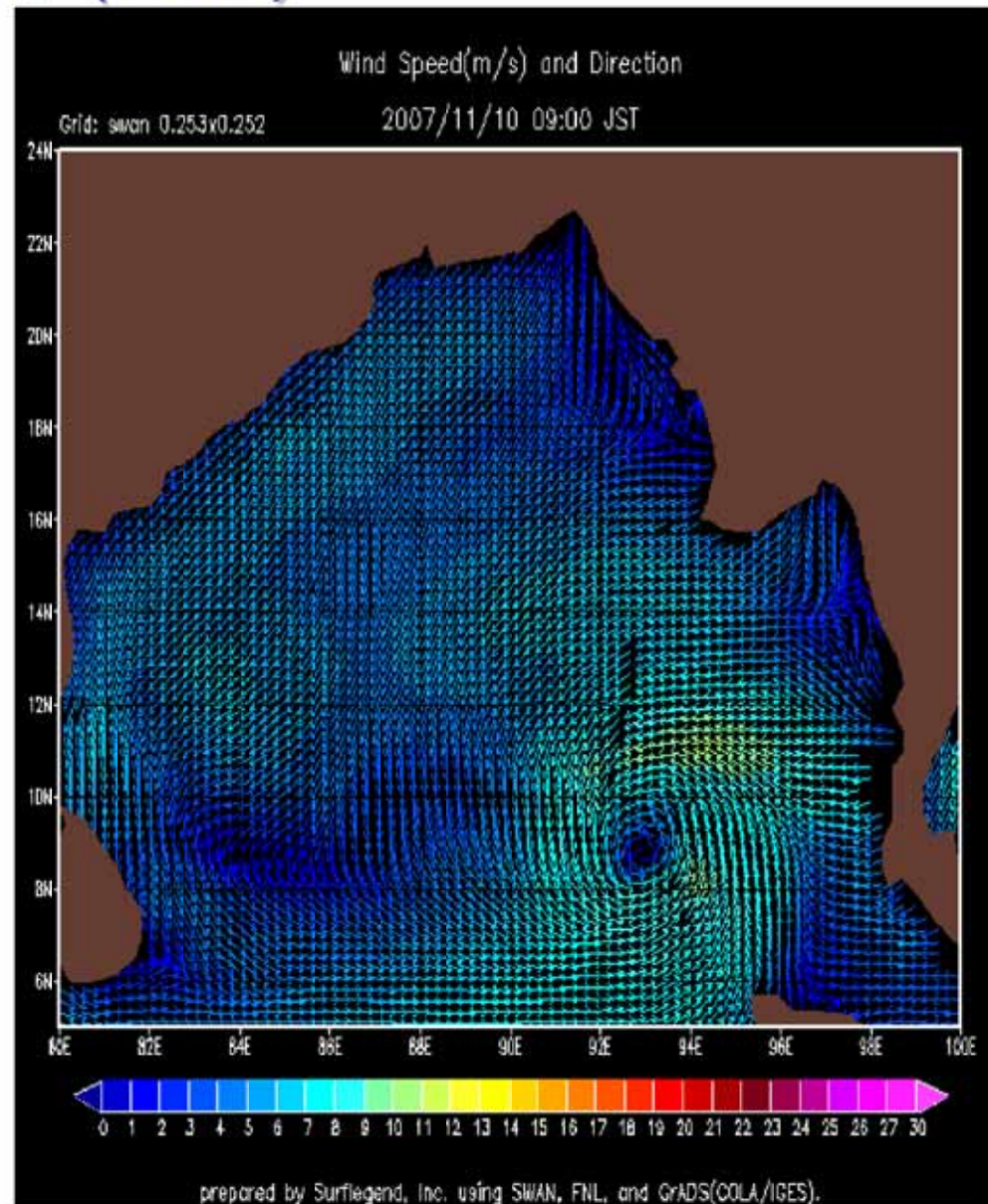
Energy Transfer Model in SWAN

- Komen et al.(1984): Default, same as WAM-cycle3
- Janssen(1989): same as WAM-cyle4
- Lalbeharry et al.(2004): Adopting the shift growth parameter Z_{α} , and using the limiter by Hersbach and Janssen(1999) on the Phillip's harmonic theory

GFS-WRF-SWAN&SuWAT システム

- GFS (Global Forecast System): Global atmospheric forecast model developed by NCEP
- WRF (Weather Research and Forecast): Meso-scale weather forecast model developed by NCAR
- Typhoon model: Calculating wind and pressure field (Fujita, Myers, Mitsuta & Fujii)
- SWAN (Simulating WAVes Nearshore): Third generation wave model
- SuWAT (the coupled-nested-parallelized Surge, Wave And Tide model)

風速と風向 (FNL)



Storm Surge Prediction Model and Its Application

➤ Model Development: SuWAT

- A numerical model using the coupled-nested-parallelized SURge WAve Tide (SuWAT) model
- Depth integrated nonlinear shallow water equations and Simulating WAVes Nearshore (SWAN) model using the Message Passing Interface.

Surface Water Stress

The total stress is treated as the sum of a turbulent and a wave-induced stress

$$\tau = \tau_{turb} + \tau_w$$

Radiation Stress

Excess momentum flux due to waves

- 1) Above two factors are used in Tide-Surge module
- 2) Surface elevations and velocities are used in the Wave module

地球温暖化への対応

Potential impact of sea-level rise on Bangladesh



Today

Total population: 112 Million

Total land area: 134,000 km²



1.5 m - Impact

Total population affected: 17 Million (15%)

Total land area affected: 22,000 km² (16%)