

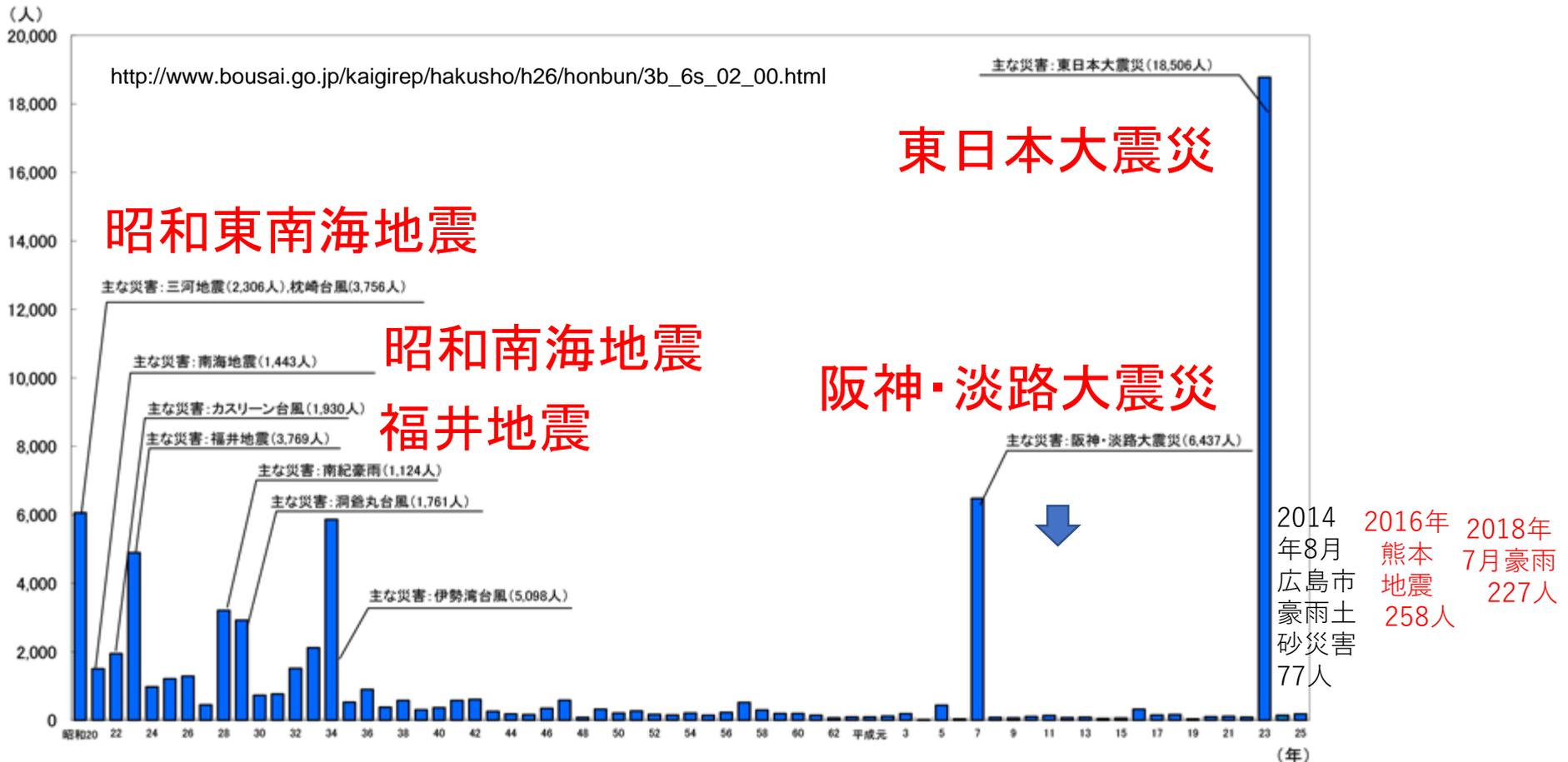
# 洪水が作り出す地形 と洪水堆積物

北村晃寿

(静大・理学部・防災総合センター)

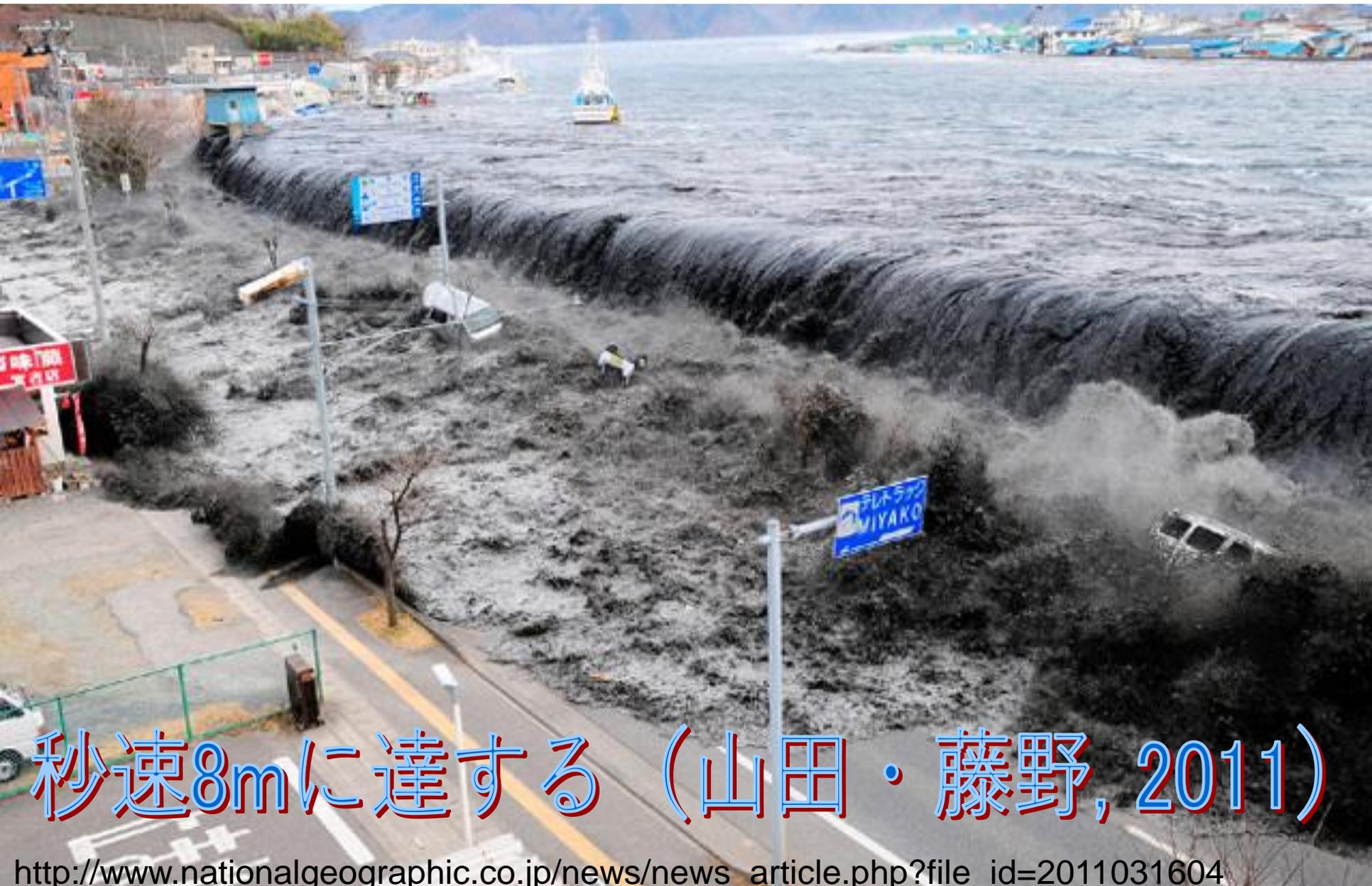
# はじめに

- ・近年の自然災害(巨大津波)



# 海の洪水

宮古市を襲った大津波



秒速8mに達する (山田・藤野, 2011)

# 巨大津波の威力

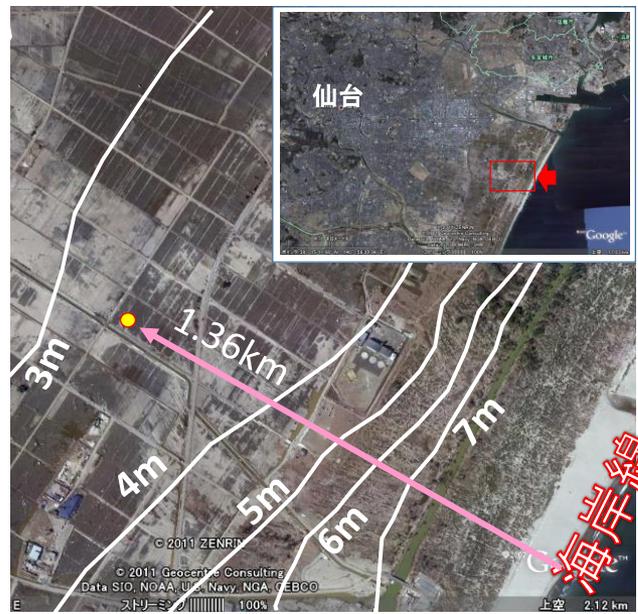


2011年5月に仙台平野で北村撮影

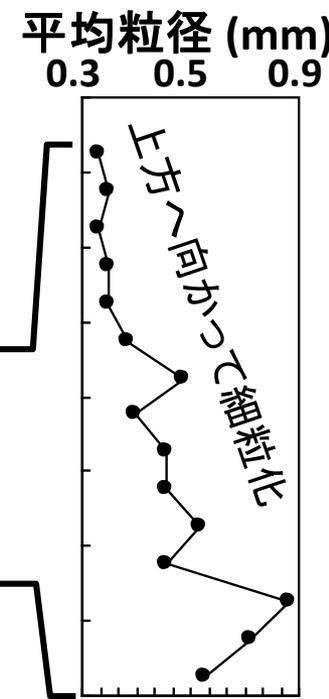
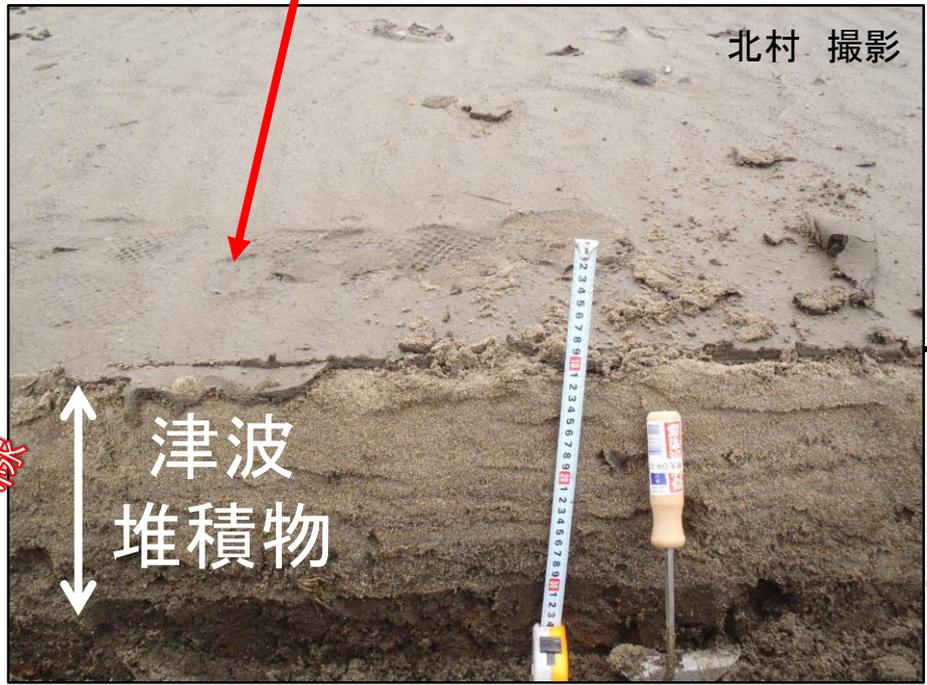
仙台平野の海岸の様子。電信柱が津波で倒され、さらにコンクリートがはがされて、中の金属棒がむき出しになっていた。

# 東北地方太平洋沖地震に伴う津波堆積物

これは、仙台平野の海岸線から1.4km内陸の津波堆積物です。これが津波発生前の地面、この部分が津波堆積物で、厚さ20cmあり、上方へ向かって粒子は細くなります。このような津波堆積物が古文書記録以前の津波の直接的証拠となります。



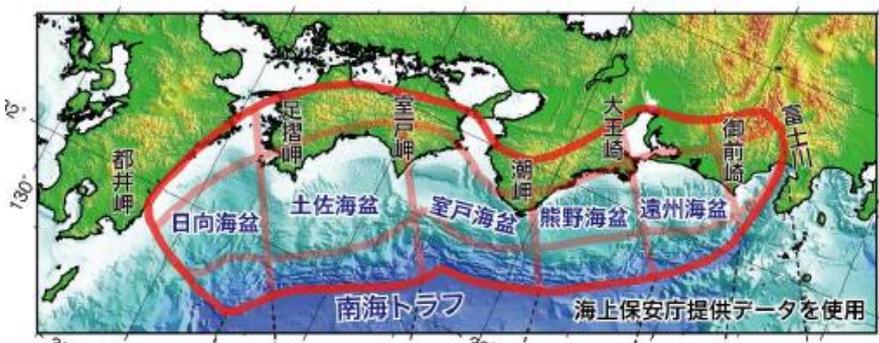
北村・若山(2011)



# 南海トラフの地震・津波

## レベル1の地震・津波

駿河トラフと南海トラフの陸側には6つの地震の起こる領域があり、複数の領域が連動して、100~200年の間隔で繰り返し起きています。

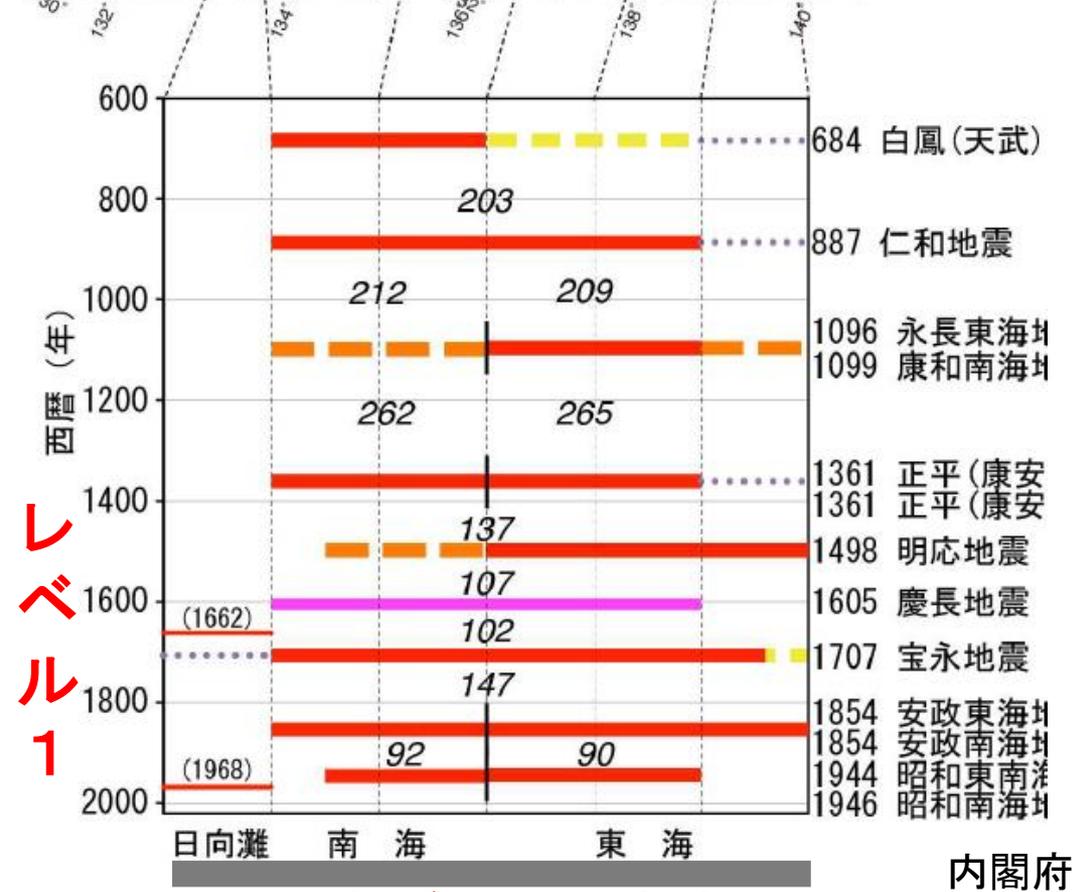


## 発生確率

領域	規模	30年発生確率
南海トラフ全域	M8~M9クラス	60%~70%

$$M = \frac{1}{1.5} \log_{10} E + c$$

マグニチュード(M)が1大きくなると地震のエネルギー(E)は約32 (10√10)倍大きくなる。



## レベル2 (全ブロック破壊, M9.1)

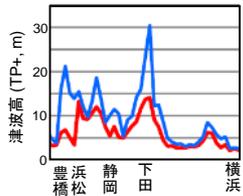
- 確実な震源域
- 可能性のある震源域
- 津波地震の可能性が高い地震
- 確実視されている震源域
- ⋯ 説がある震源域
- 日向灘のプレート間地震(M7クラス)

内閣府

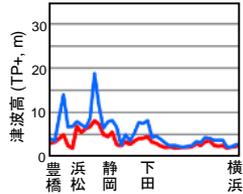
# 「レベル2津波」

発生頻度はレベル1の  
一桁以上低い

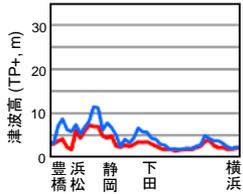
ケース1  
駿河湾～紀伊  
半島沖に「大  
すべり域+超  
大すべり域」



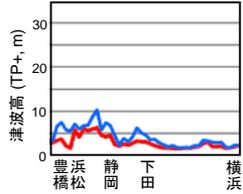
ケース2  
紀伊半島沖に  
「大すべり域+  
超大すべり域」



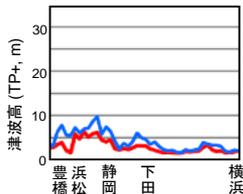
ケース3  
紀伊半島沖～  
四国沖に「大  
すべり域+超  
大すべり域」



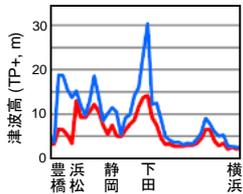
ケース4  
四国沖に「大  
すべり域+超  
大すべり域」



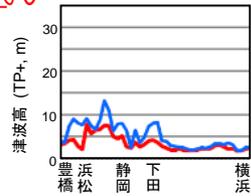
ケース5  
四国沖～九州  
沖に「大すべ  
り域+超大す  
べり域」



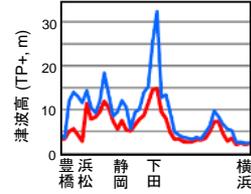
ケース6  
駿河湾～紀伊  
半島沖に「大  
すべり域+  
(超大すべり  
域、分岐断層)」



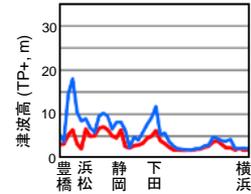
ケース7  
紀伊半島沖に  
「大すべり域+  
(超大すべり域、  
分岐断層)」



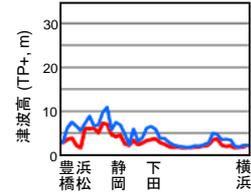
ケース8  
「駿河湾～愛知  
県東部沖」と  
「三重県南部沖  
～徳島県沖」に  
「大すべり域+  
超大すべり域」



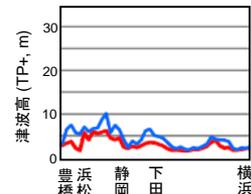
ケース9  
「愛知県沖～  
三重県沖」と  
「室戸岬沖」に  
「大すべり域+  
超大すべり域」



ケース10  
「三重県南部沖  
～徳島県沖」と  
「足摺岬沖」に  
「大すべり域+  
超大すべり域」



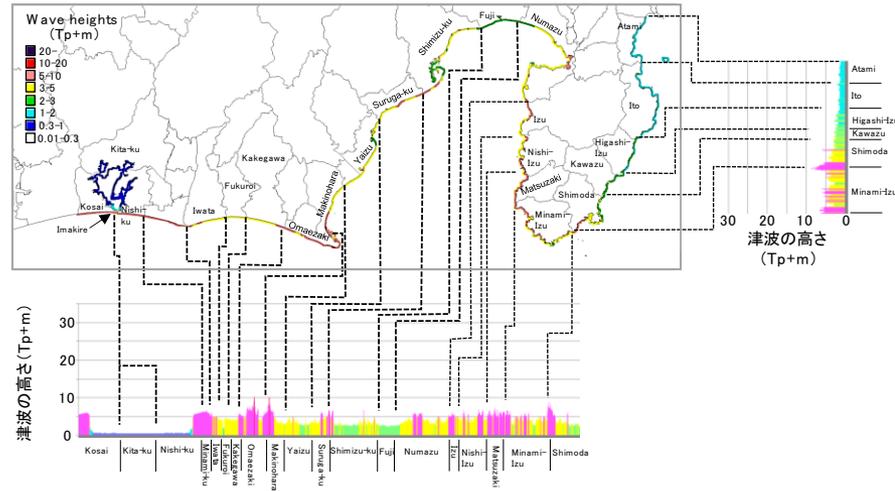
ケース11  
「室戸岬沖」と  
「日向灘」に  
「大すべり域+  
超大すべり域」



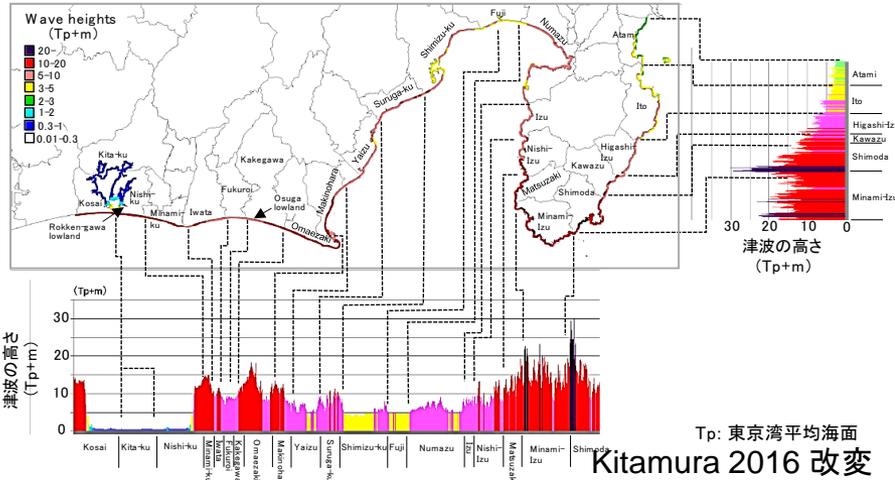
— 平均値  
— 最大値  
TP 東京湾平均海面

Kitamura 2016 改変

## レベル1 津波

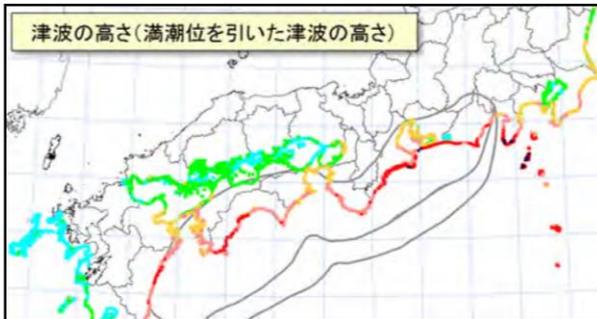


## レベル2 津波(ケース1)



TP: 東京湾平均海面

Kitamura 2016 改変

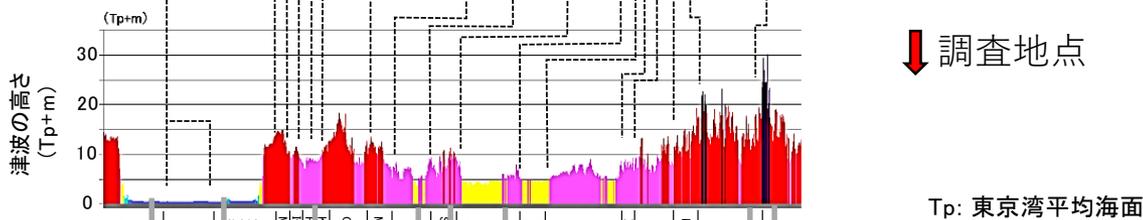
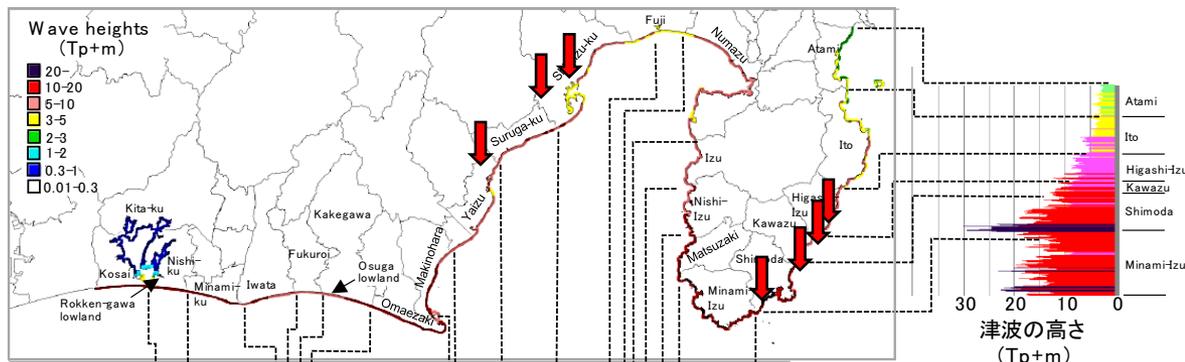


内閣府

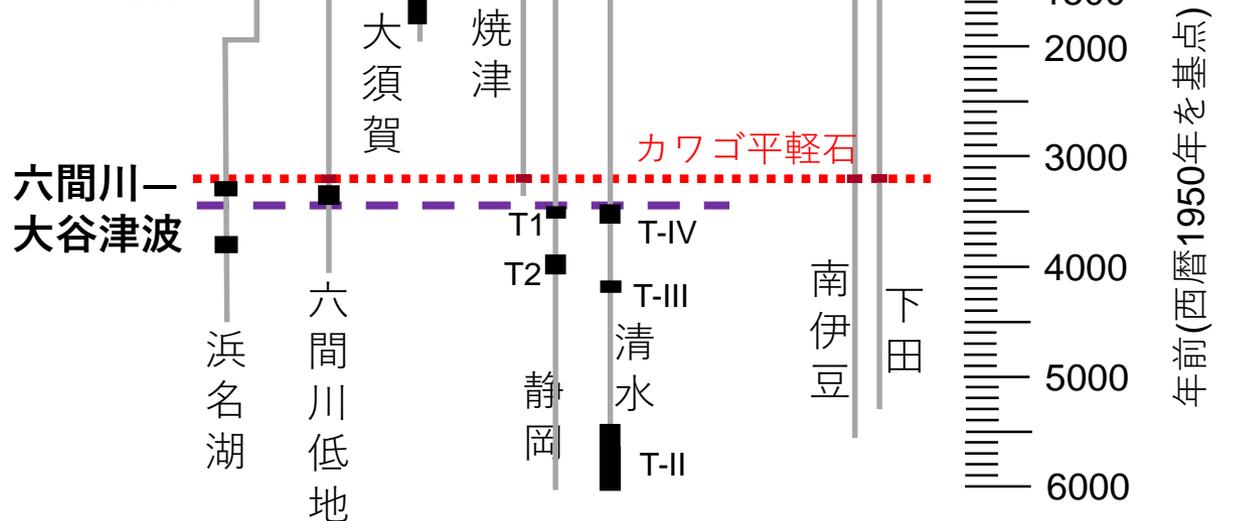
国は南海トラフで起こる巨大地震に伴う「あらゆる可能性を考慮した最大クラス(レベル2)の津波の高さ」に関して11のケースを公表し(図1), これまで防災対策の対象としてきた「東海地震, 東南海地震, 南海地震とそれらが連動するマグニチュード8程度のクラスの地震」による津波をレベル1としました.

この想定で, 例えば, 静岡県下田市・南伊豆町沿岸のレベル2(25 m)はレベル1(5-6 m)より20 mも高くなり, 静岡県沿岸地域では人口流出, 地価下落, 観光客の減少といったネガティブな事態が起きています. このような社会に強い影響を与えている想定ですが, その作成は限定的な津波堆積物の研究成果に基づいたものでした.

レベル2 津波(ケース1)



西暦684年  
白鳳地震



・北村・小林(2014)が命名した**六間川-大谷津波**の津波堆積物は、浜松市から静岡市まで分布する可能性があり、分布範囲が最も広い。

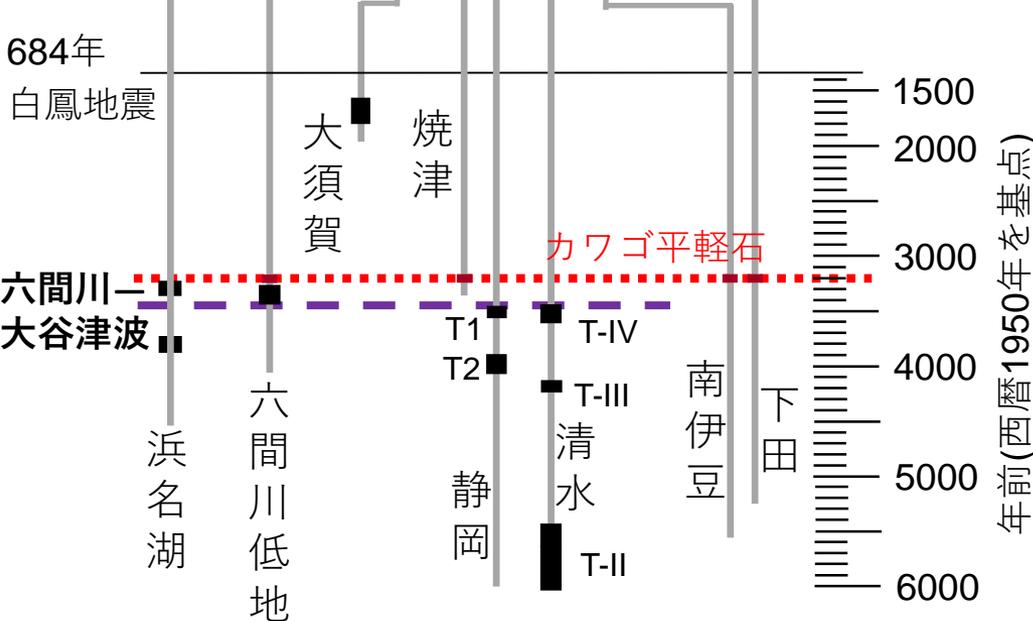
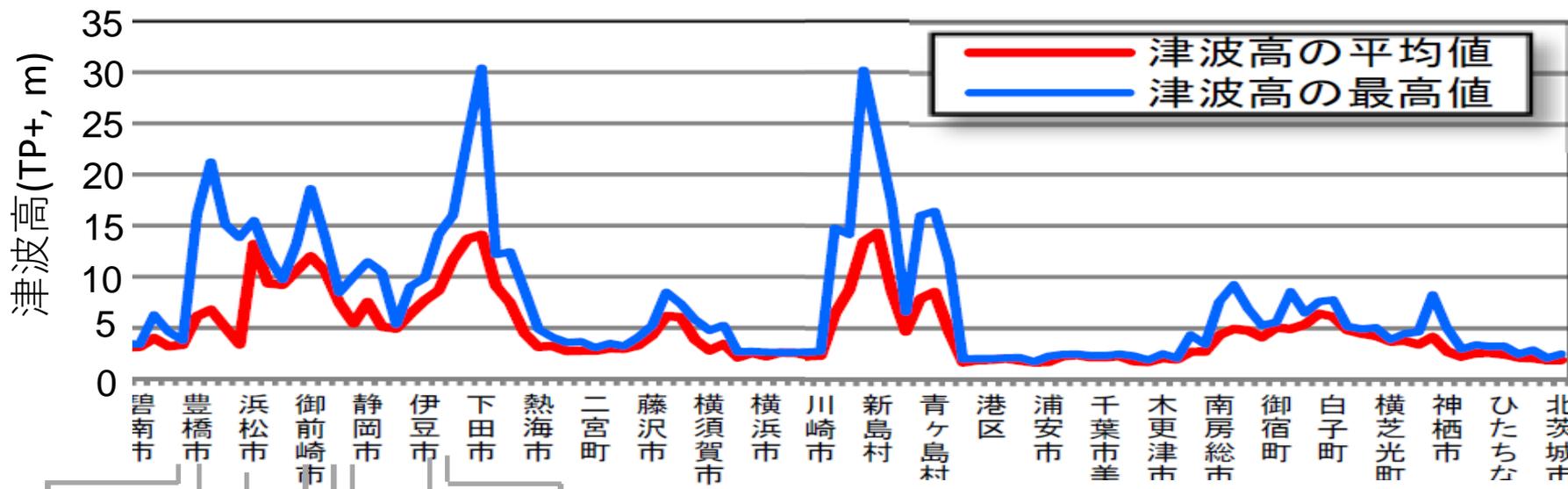
・レベル2津波は、下田市・南伊豆町沿岸の津波の波高は、六間川低地、静岡平野、清水平野よりも10 m余り高いにも関わらず、六間川-大谷津波による津波堆積物や津波石などは検出されない。

・六間川-大谷津波はレベル2津波には相当しない。

・静岡県沿岸地域では、過去4千年間にレベル2津波の痕跡はない。

# 南海トラフにおけるあらゆる可能性を考慮した最大クラスの津波

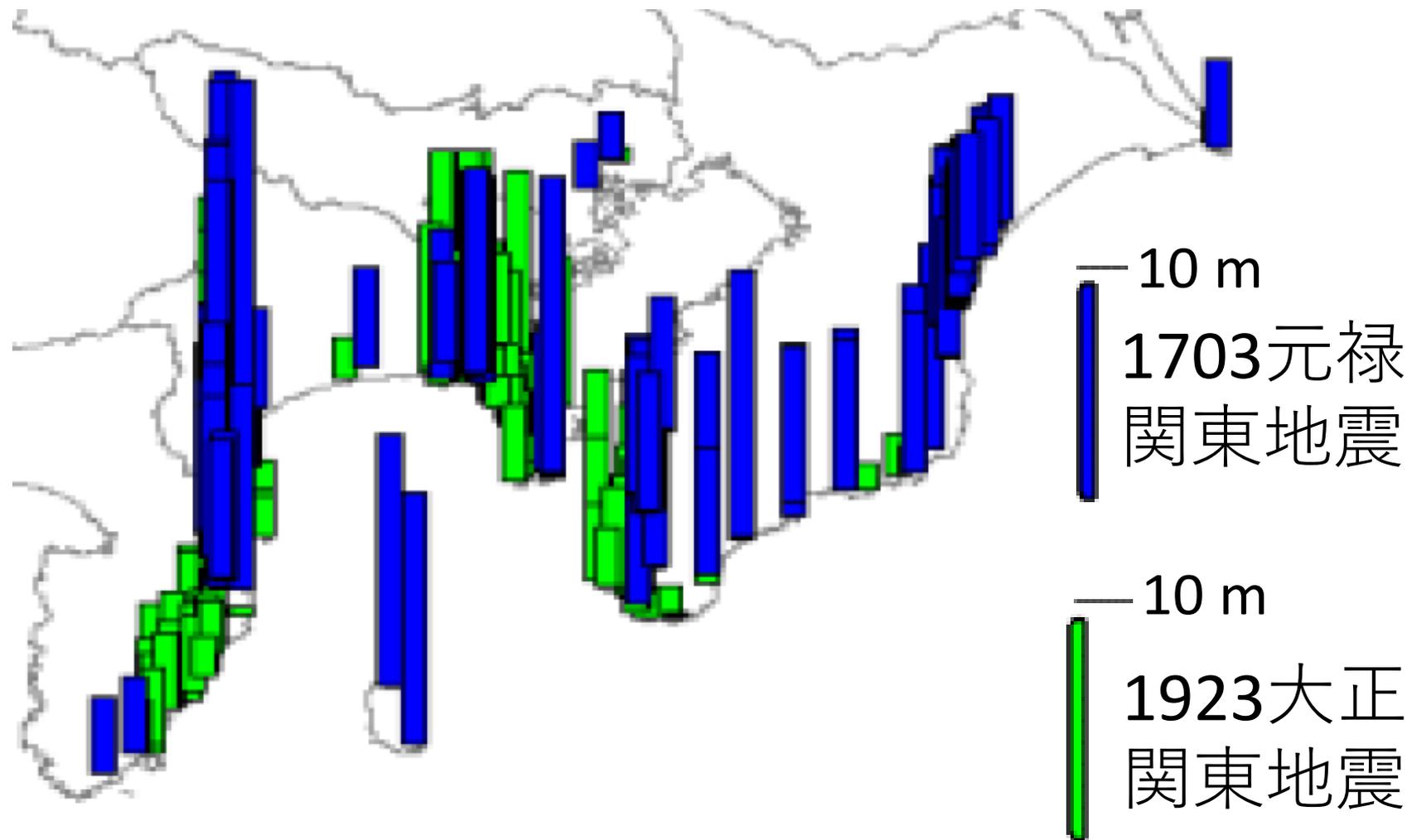
ケース①「駿河湾～紀伊半島沖」に「大すべり域+超大すべり」域を設定



南海トラフにおけるあらゆる可能性を考慮した最大クラスの津波は、過去4千年間に首都圏や伊豆七島などには襲来していない。

静岡県沿岸低地における津波堆積物調査(Kitamura, 2016改変)

# 1923年大正関東地震及び1703年元禄 関東地震の津波痕跡高



# 蛇行河川の地形と堆積物

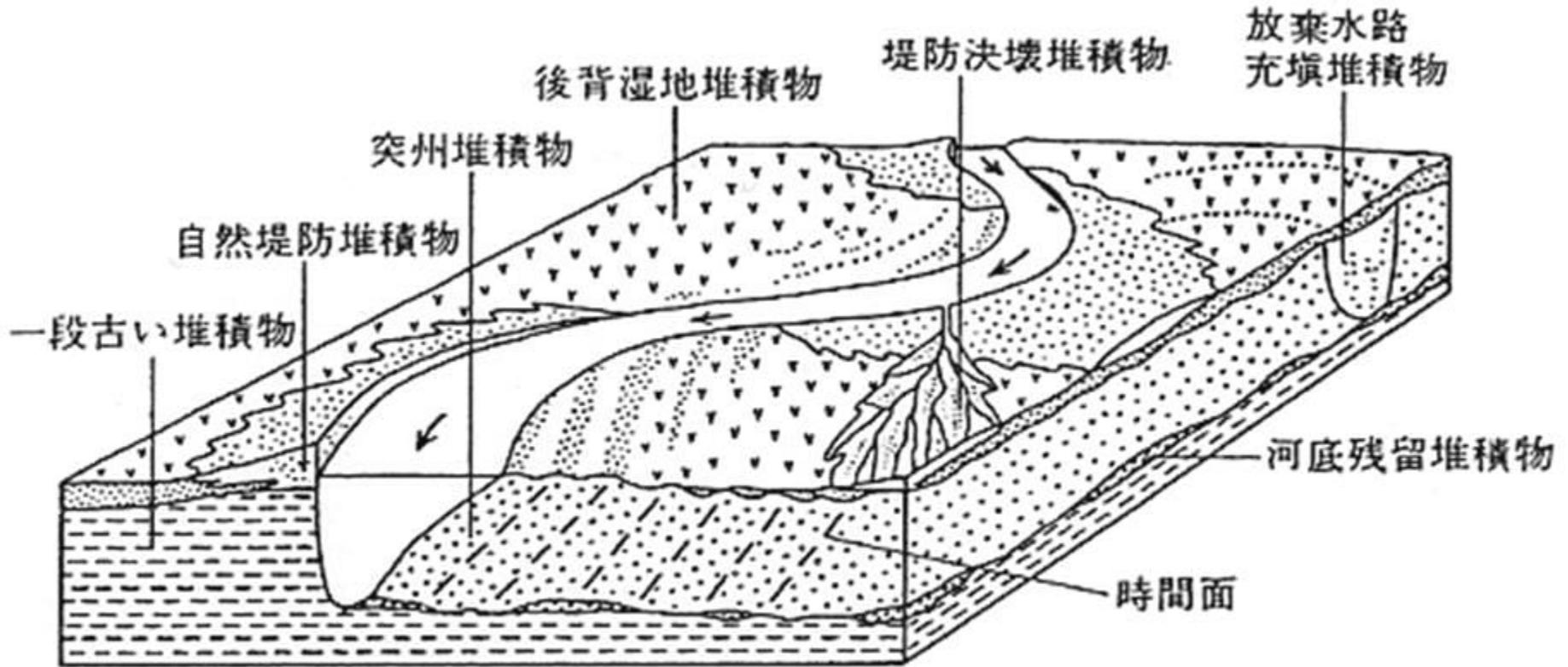


図 3.10 蛇行河川の堆積環境と岩相区分 (Allen, 1964\* を改変)

岩波講座 地球科学 5

自然堤防は洪水でつくられたもの

# 河床上昇



(1) 川は低い所を自由に流路を変えながら流れていた。



(2) 大水ごとに川はあふれ自然堤防をつくっていった。



(3) 氾濫をくり返すごとに河床は上り、天井川になっていった。(自然による天井川)



(4) 耕地が冠水しないように、また耕地面積が減らないように人工で堤防を高くしていった。(人工による天井川)



(5) それでも大水時には破壊し、土砂が耕地を覆い河床に残った。



(6) 耕地を確保するために堤防をさらに高くし、河床を切り下げた。(5)と(6)の繰り返しが天井川を発達させた。

上流からの土砂供給量が多く、河床が上昇傾向にある河川は、河道が不安定な傾向にあり、河床変動や河道変動が頻繁に生じる(泉・青木, 2012, 土木学会論文 文集 A2).



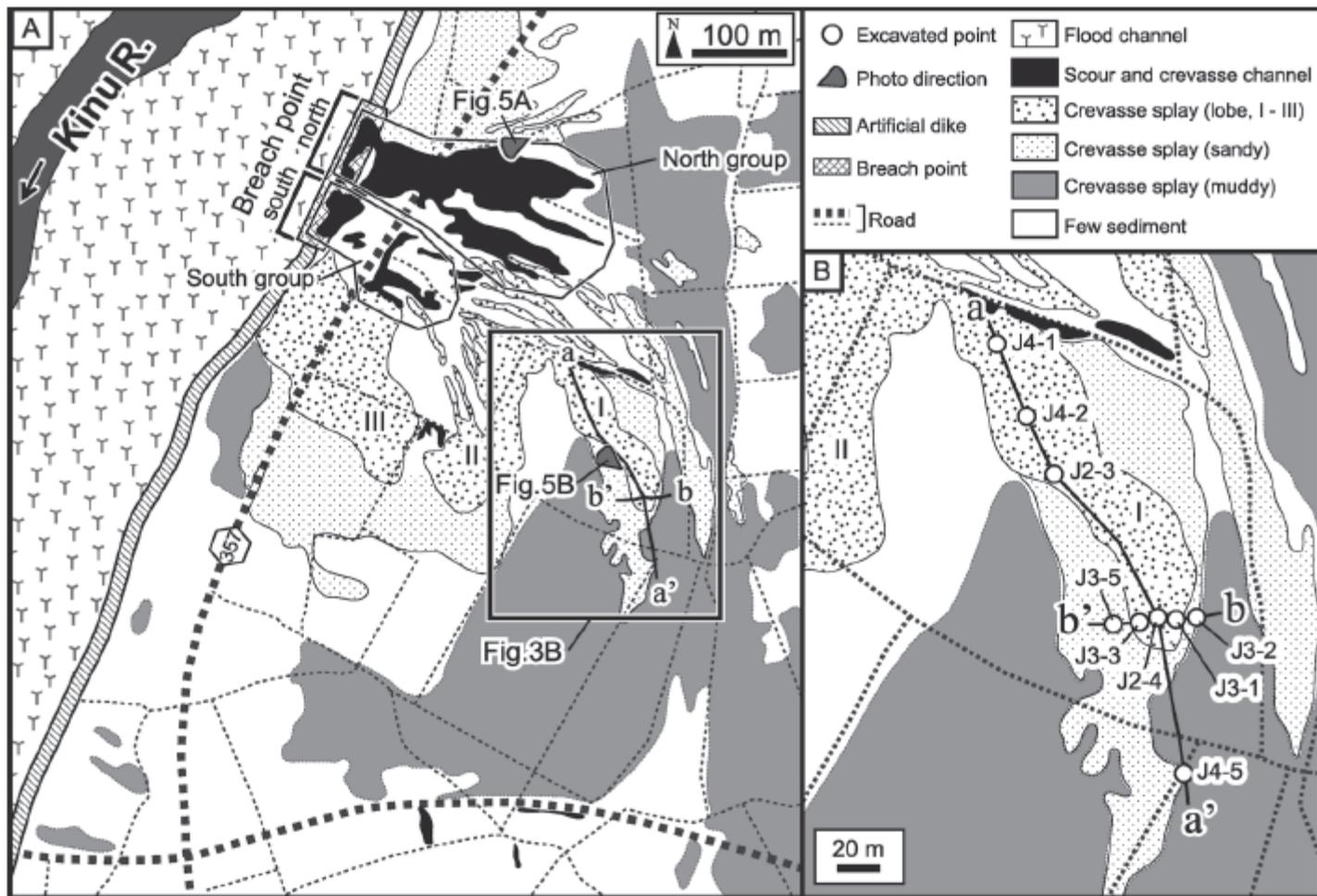
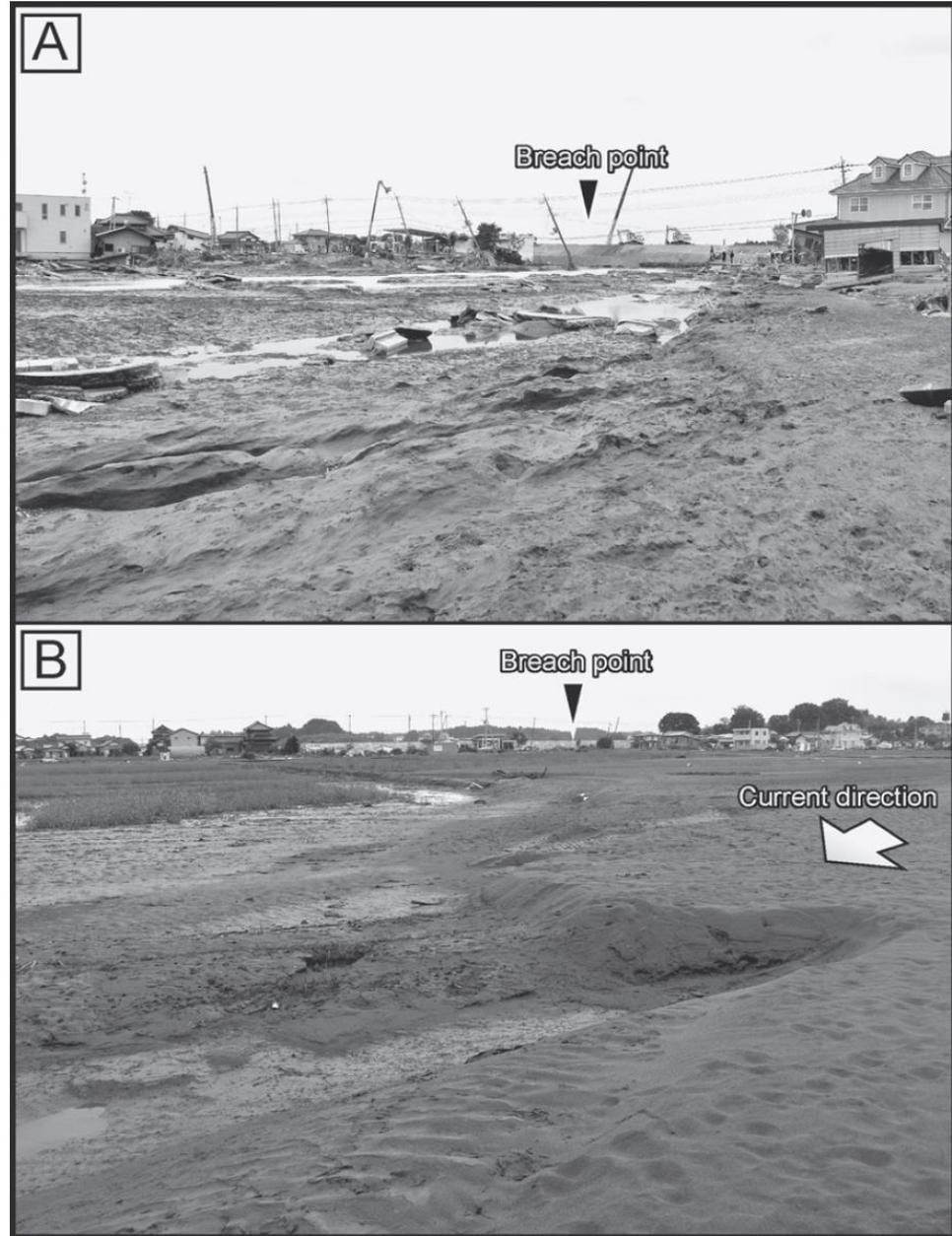
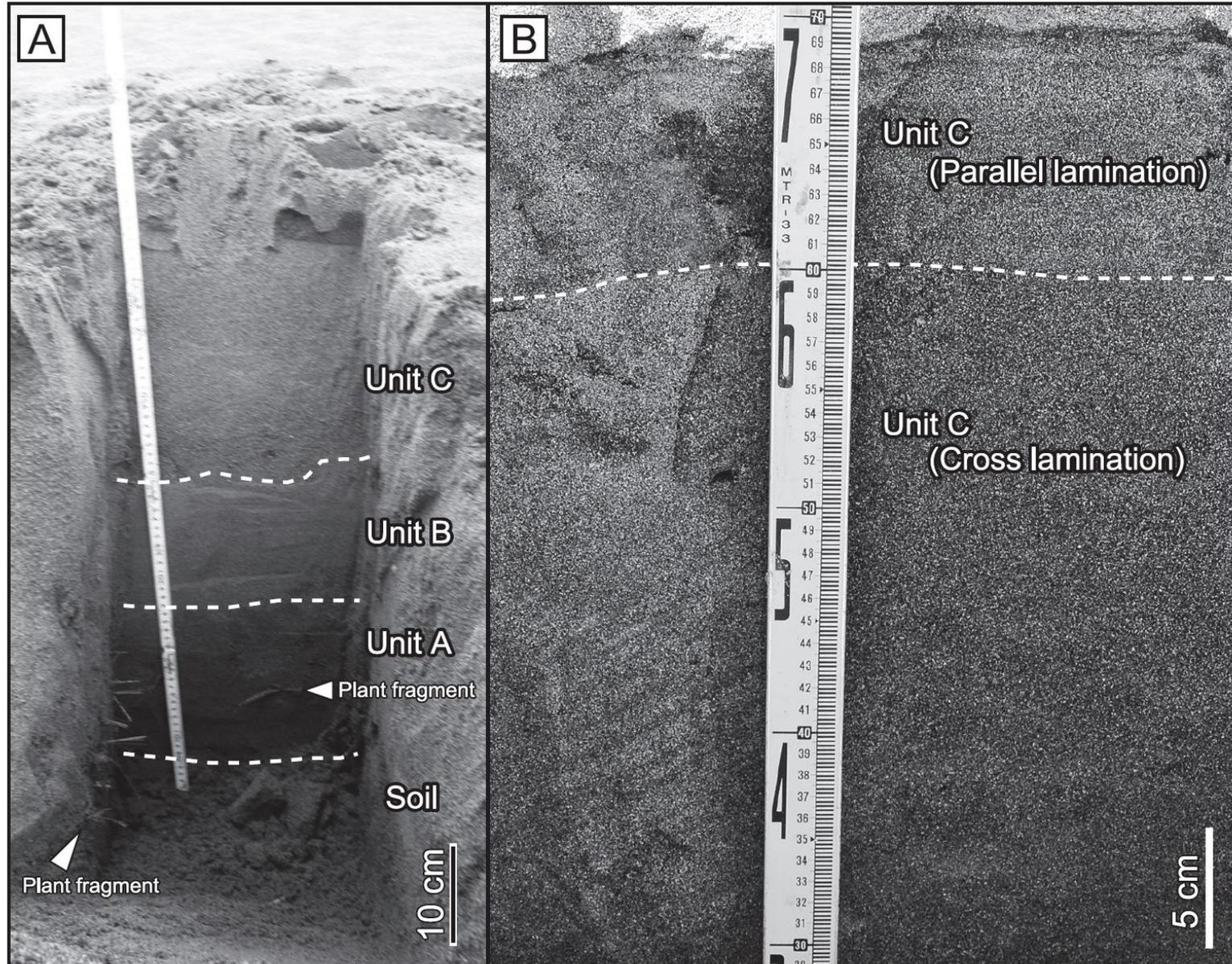


図 3 破堤堆積物の分布 (A) およびトレンチ掘削地点位置 (B)

破堤堆積物の分布は 2015 年 9 月 11 日撮影の空中写真 (国土地理院基本図情報部災害対策班, 2016) の判読および現地踏査に基づく。破堤箇所および侵食地形の区分は常田 (2015) に基づく。



# クレバス・スプレー堆積物



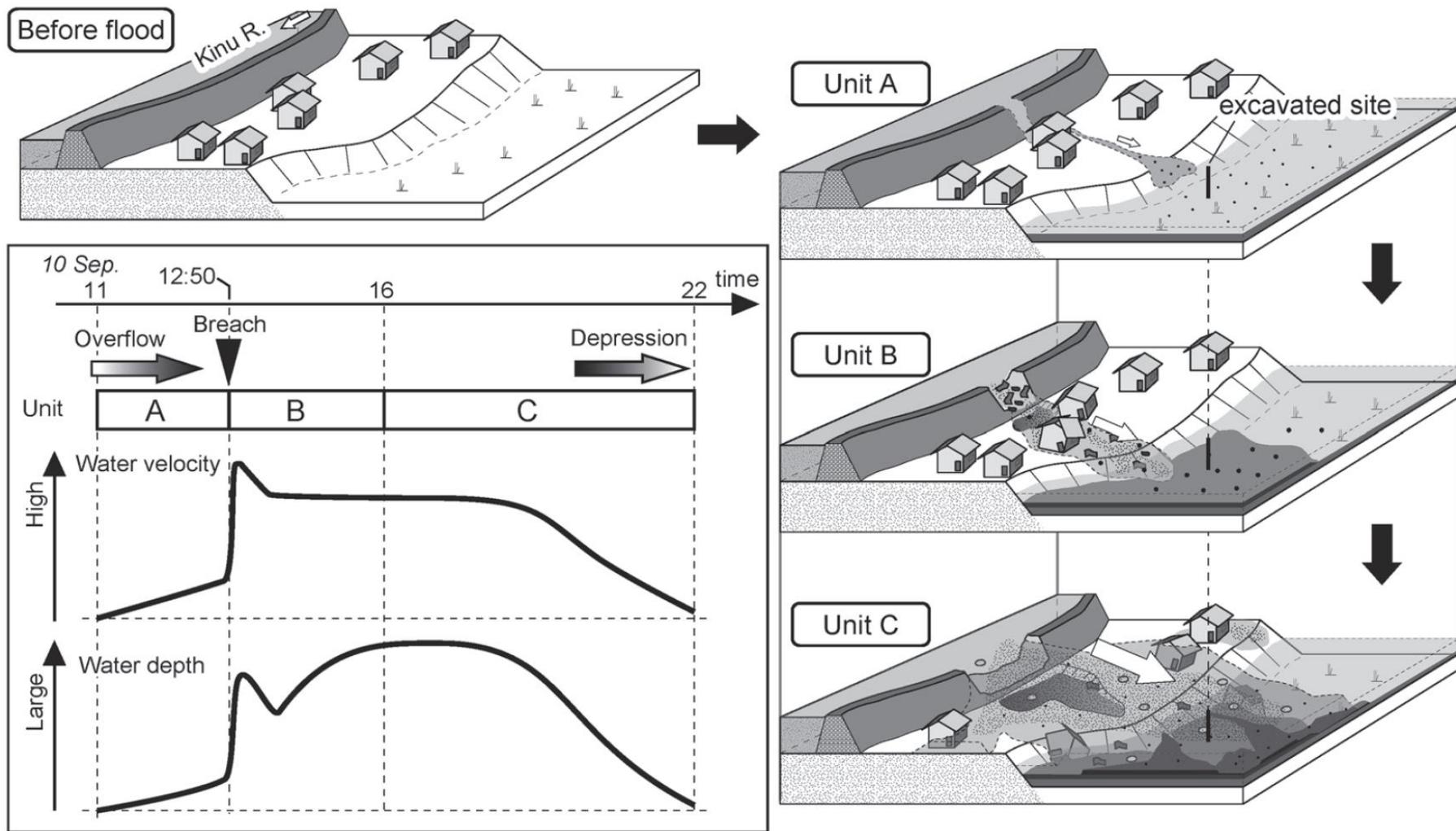
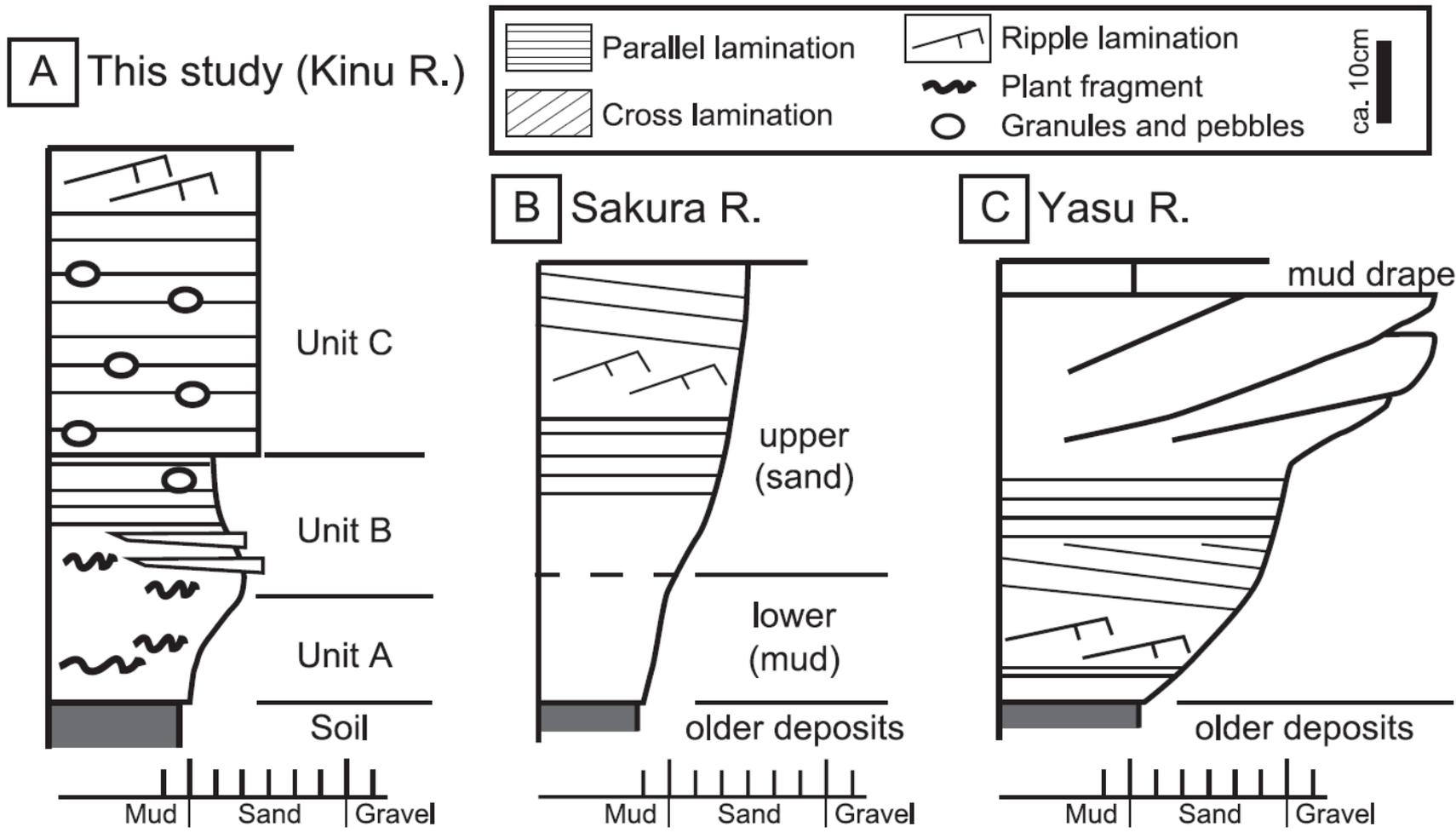


図 8 堆積相の特徴から推定される破堤堆積物の堆積プロセス

流速・水深はトレンチ掘削地点（ローブ）の周辺のものを示す。越水，破堤および浸水の収束時刻は，国土交通省関東地方整備局（2015）と常田（2015）に基づく。

佐藤ほか，2017，第四紀研究，56，37-50.



粒度組成

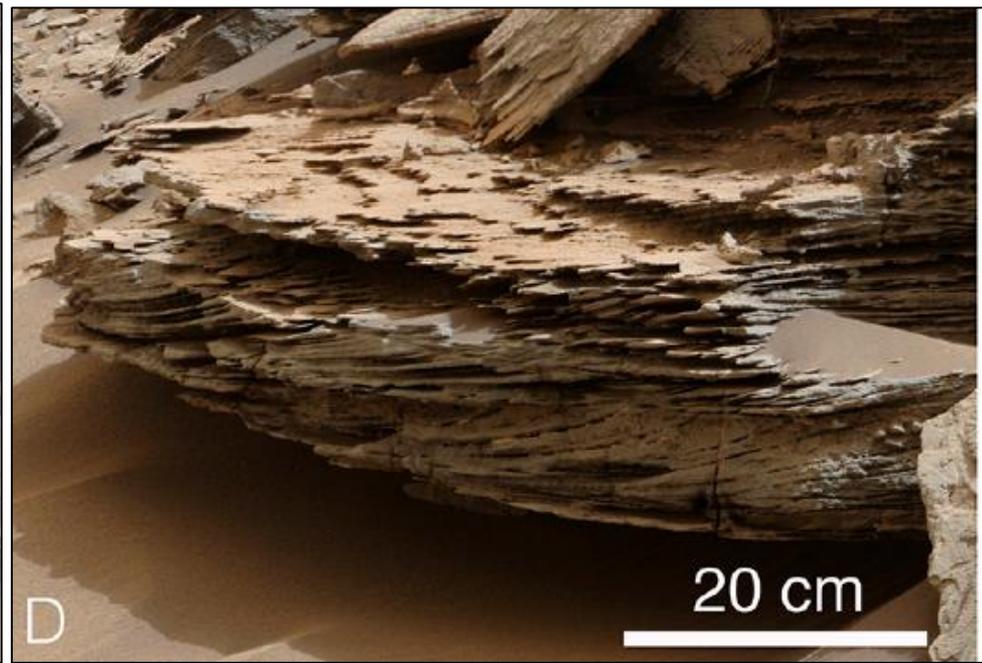
図 9 氾濫・破堤堆積物の模式層序

A : 鬼怒川中流域 (本研究), B : 増田・伊勢屋 (1985), C : 鈴木 (1995).

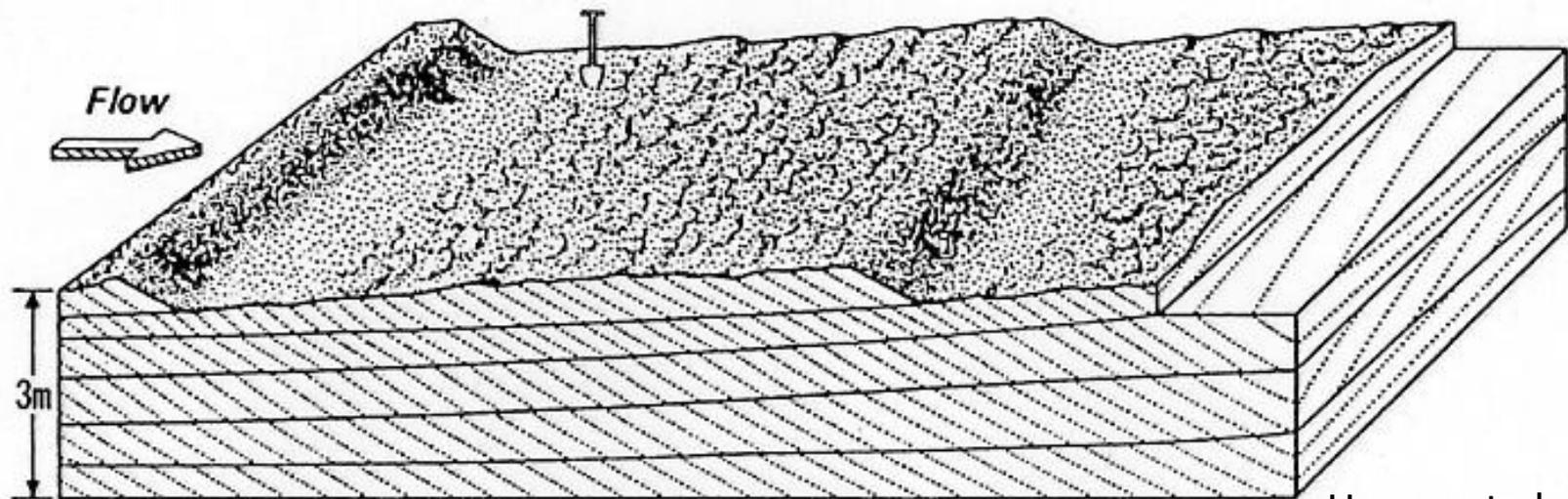
Fig. 9 Typical stratigraphy of crevasse splay and flood deposits

A : This study, B : Masuda and Iseya (1985), C : Suzuki (1995).

# この堆積構造はどこか？



NASA



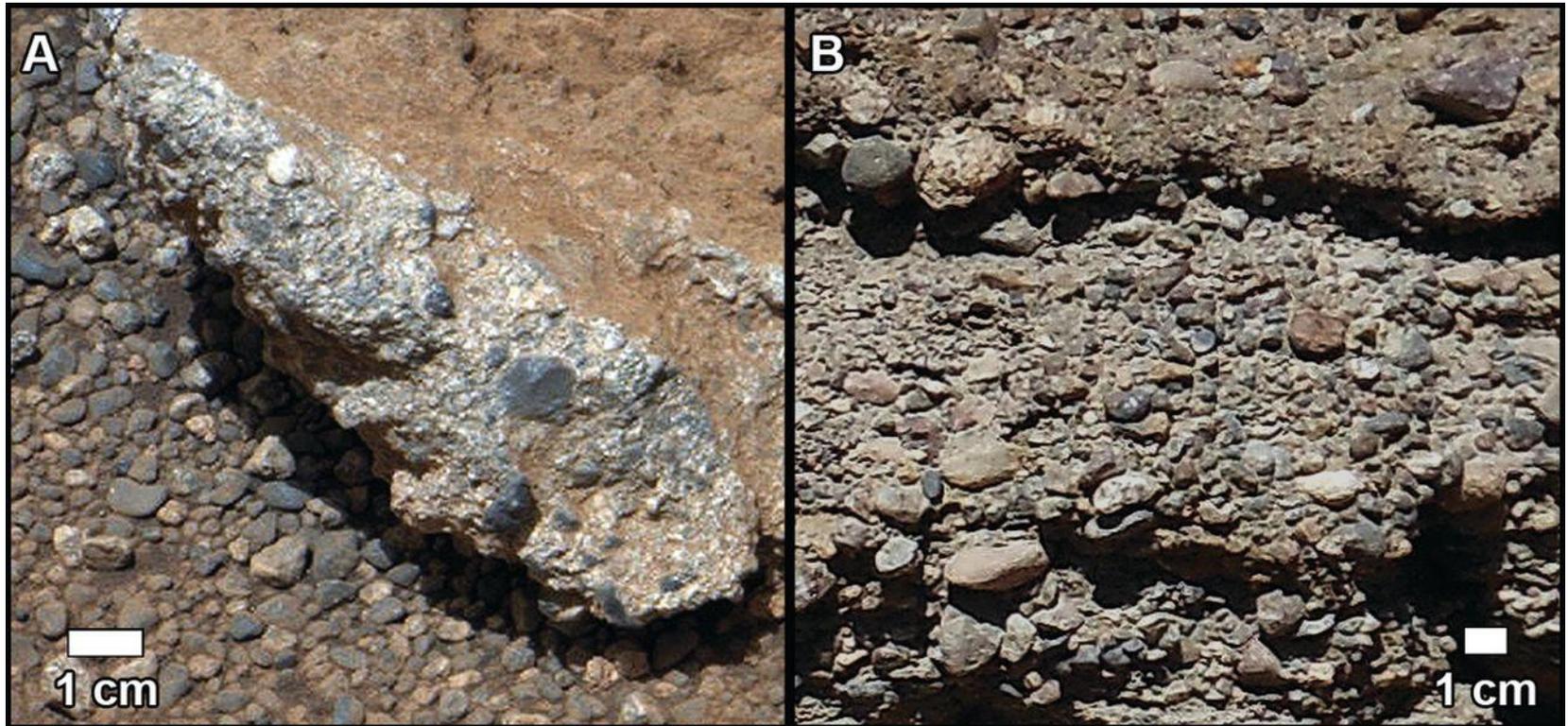
Harms et al. (1975)

# インブリケーション

→ 下流



**Fig. 2 Comparison of pebbles at Link and a terrestrial analog site.(A) Link was imaged with the 100-mm Mastcam on sol 27 (17).**



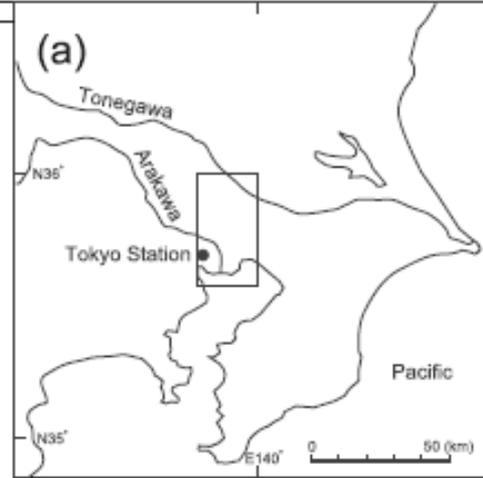
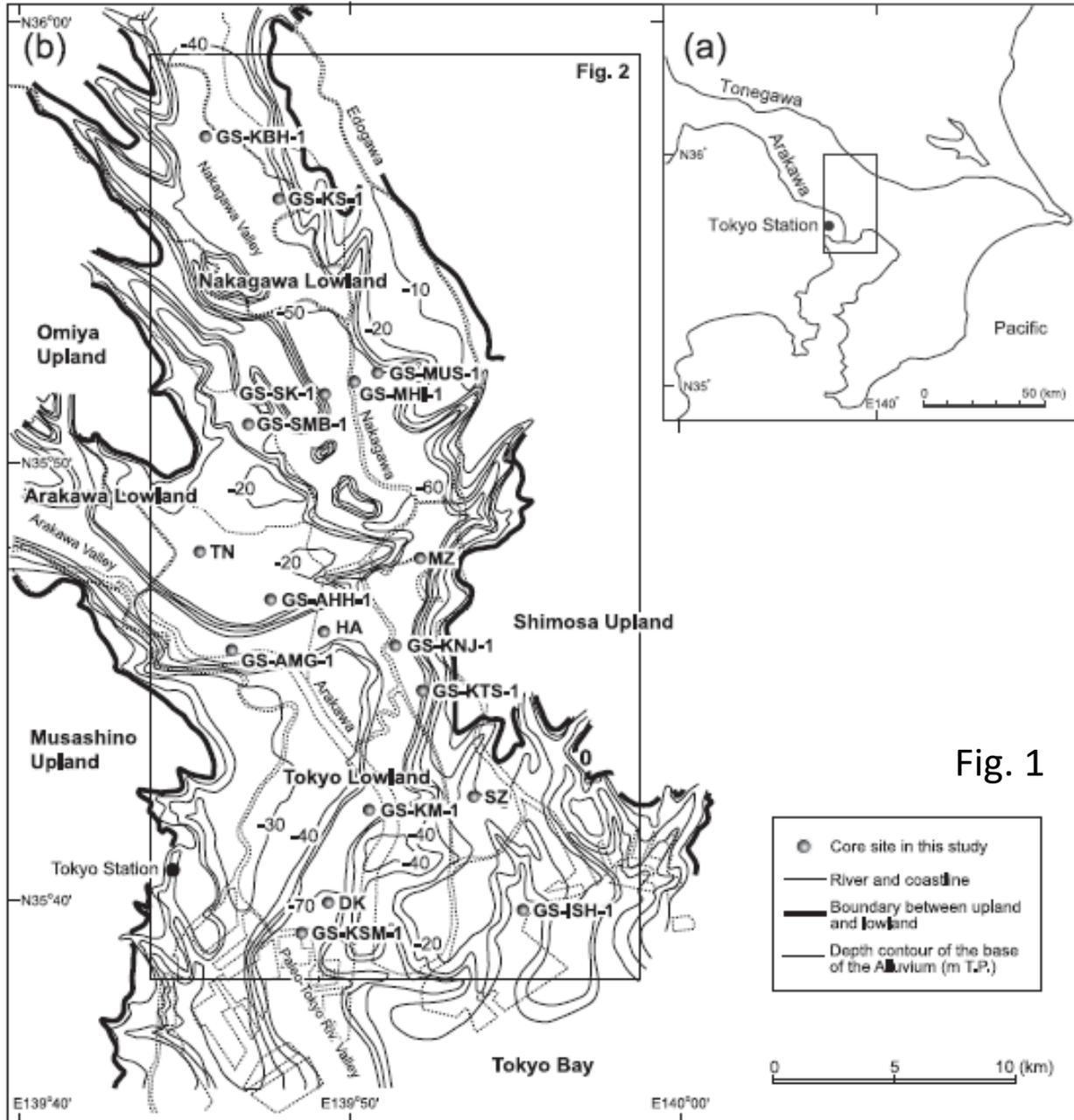
R. M. E. Williams et al. *Science* 2013;340:1068-1072





<https://www.universetoday.com/111147/after-the-flood-ancient-waters-carved-these-martian-channels/>

# 河道・自然堤防堆積物の分布による河川環境の変化

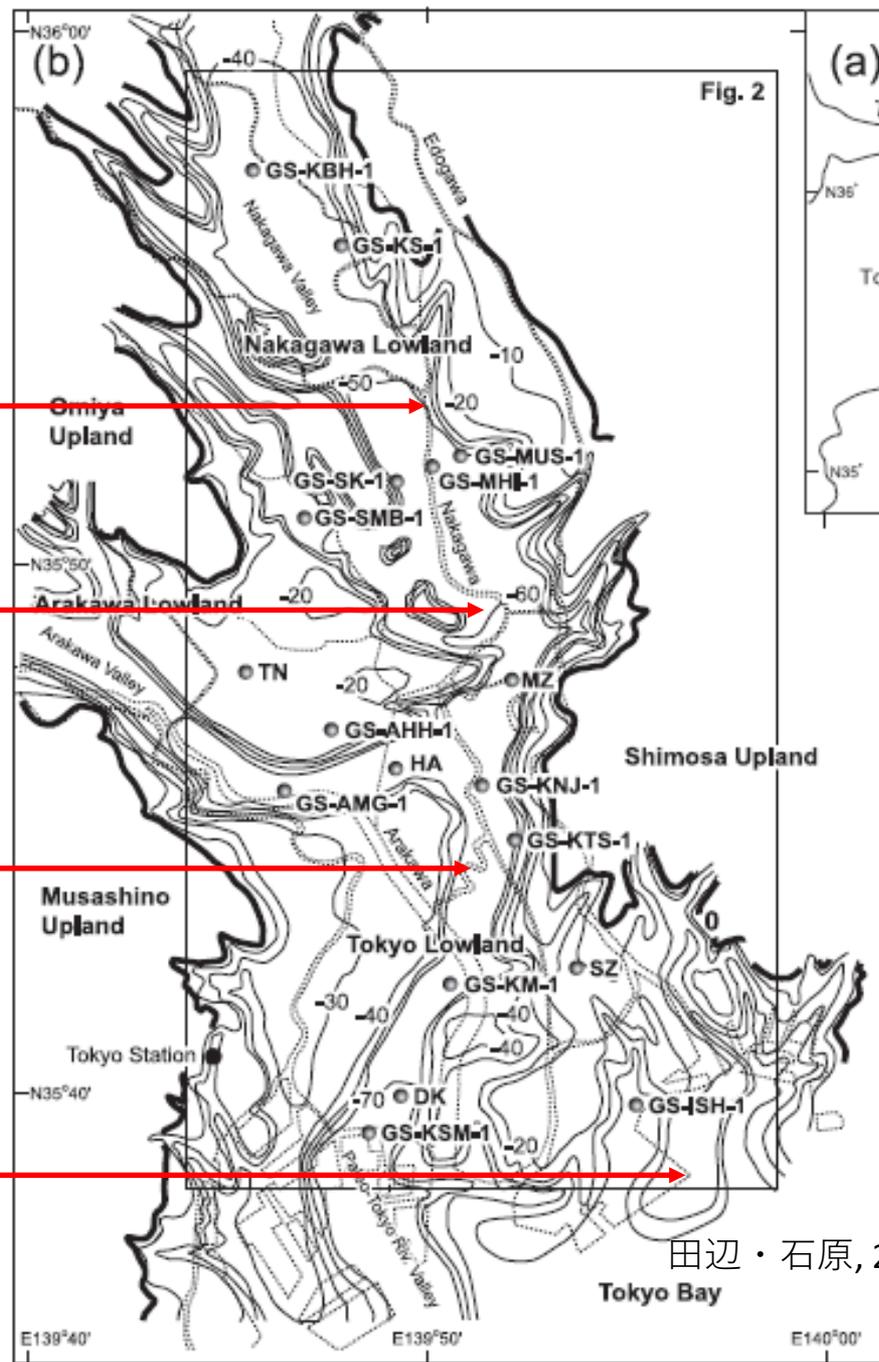
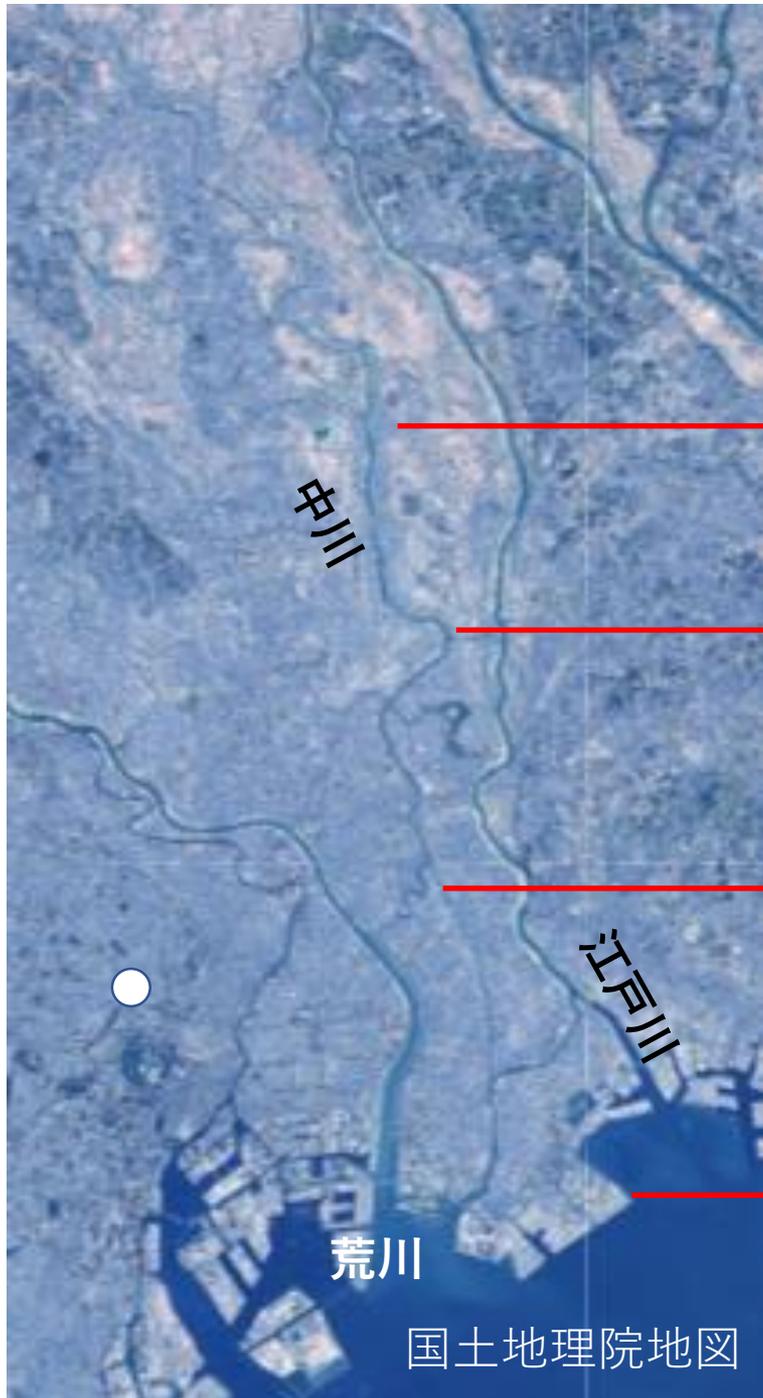


東京低地と中川低地における沖積層最上部陸成層の発達様式：“弥生の小海退”への応答

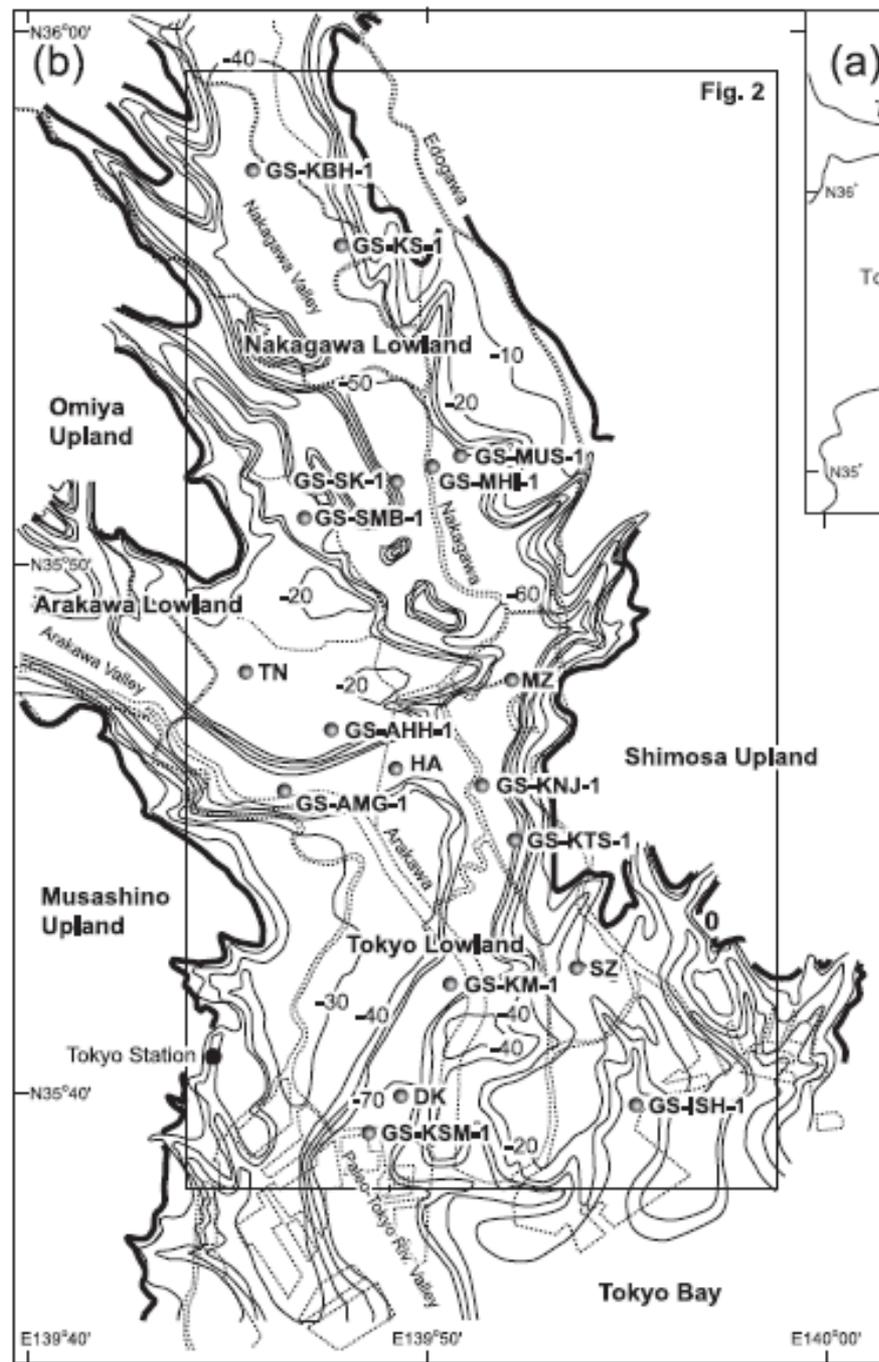
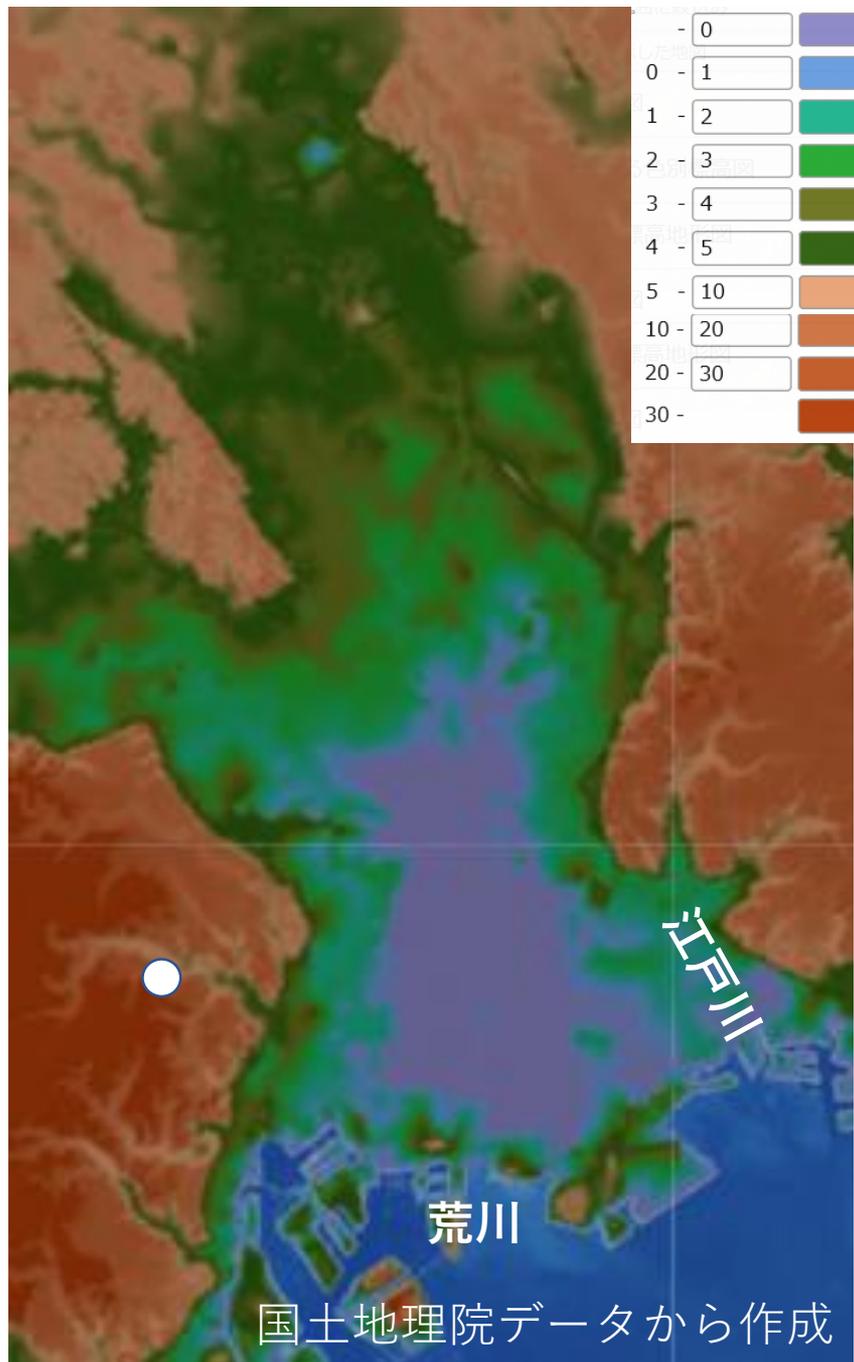
田辺 晋・石原与四郎  
地質学雑誌, 119 卷 (2013)  
5 号 p. 350-367

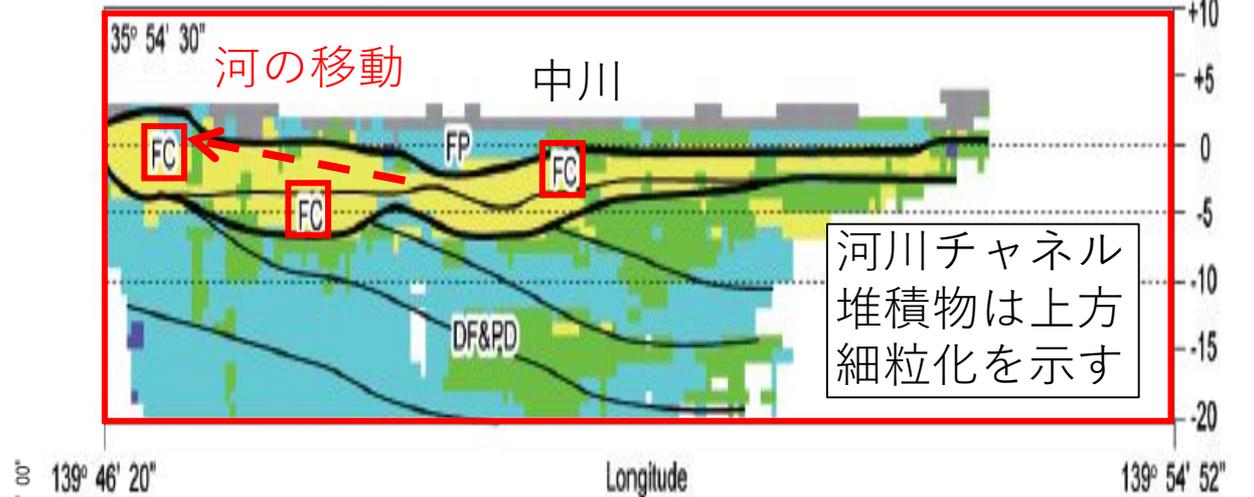
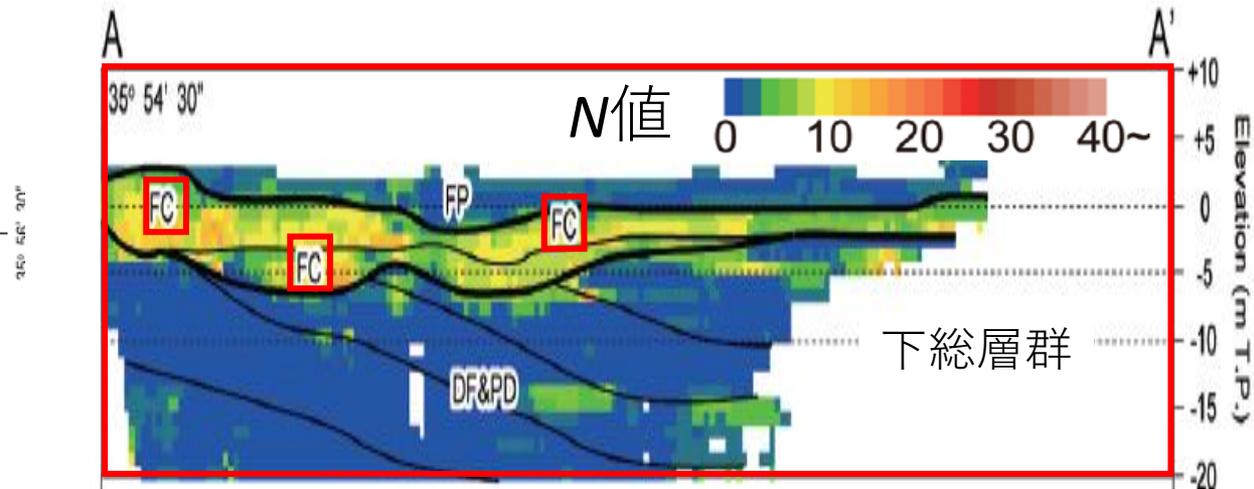
15本のボーリングコアの深度10 m以浅の堆積相と<sup>14</sup>C年代

7021本のボーリング柱状図資料から堆積相の空間分布を解明



田辺・石原, 2013





Lithology

- Sand
- Mud
- Artificial soil
- Gravel
- Muddy sand/sandy mud

FP: 後背湿地

FC: 河川流路

TF: 干潟

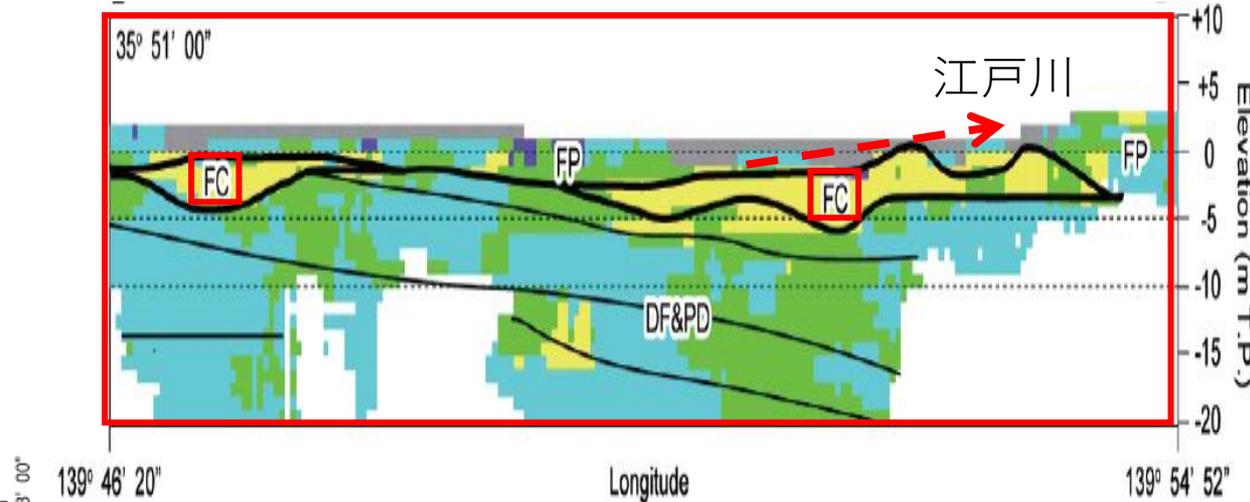
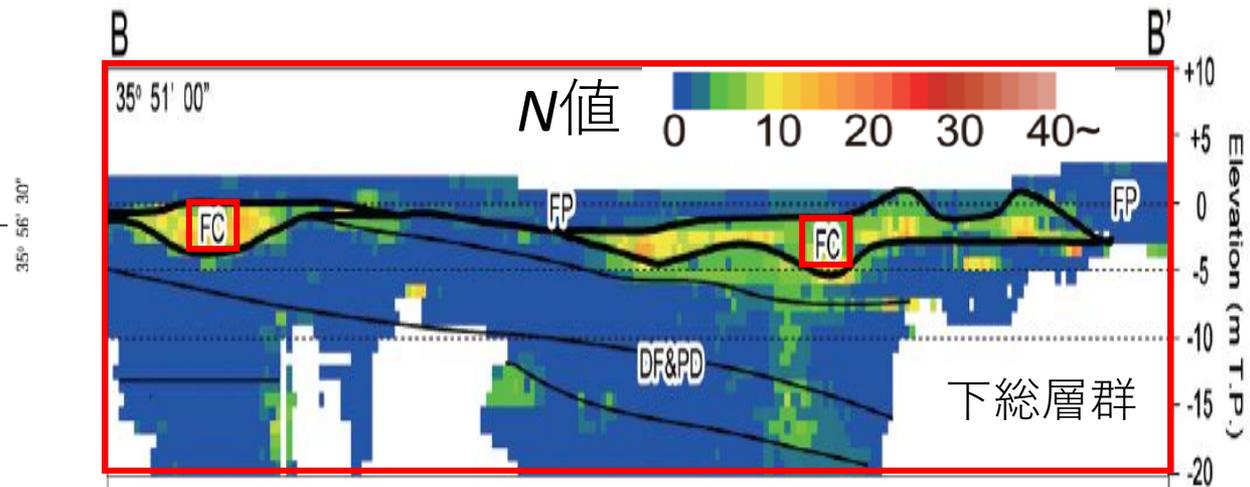
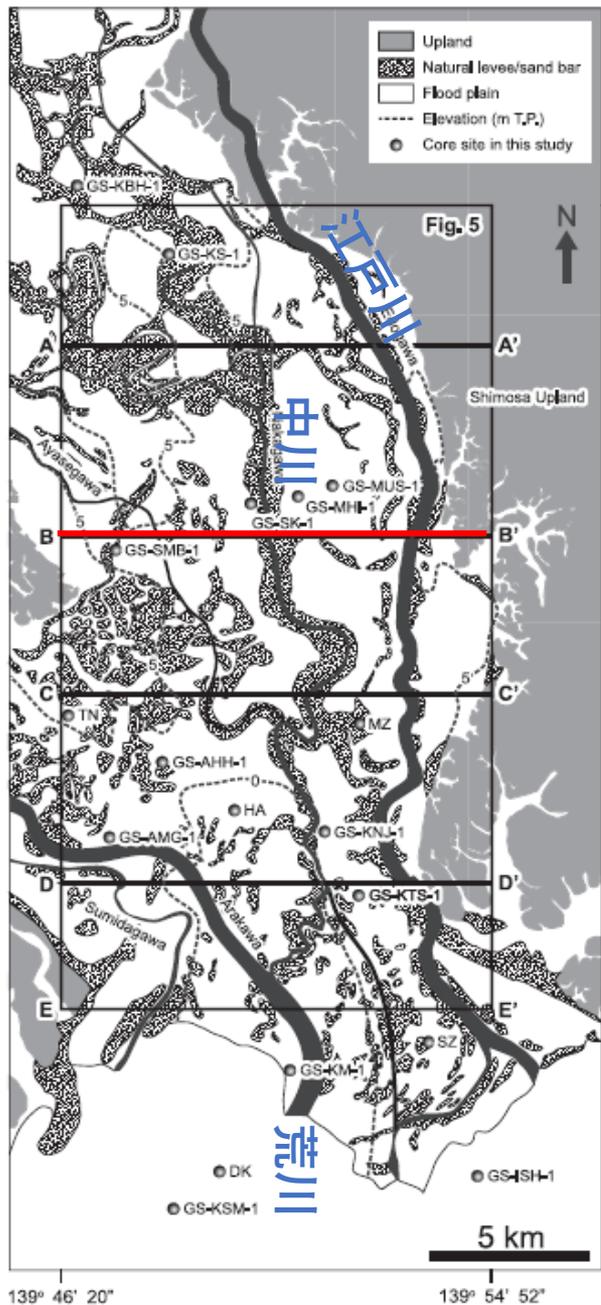
DF: デルタフロント

PD: プロデルタ

SP: 砂嘴

— 堆積相の境界

— 同時断面 本文中に記載はないが、通常、**1000年間隔**



Lithology

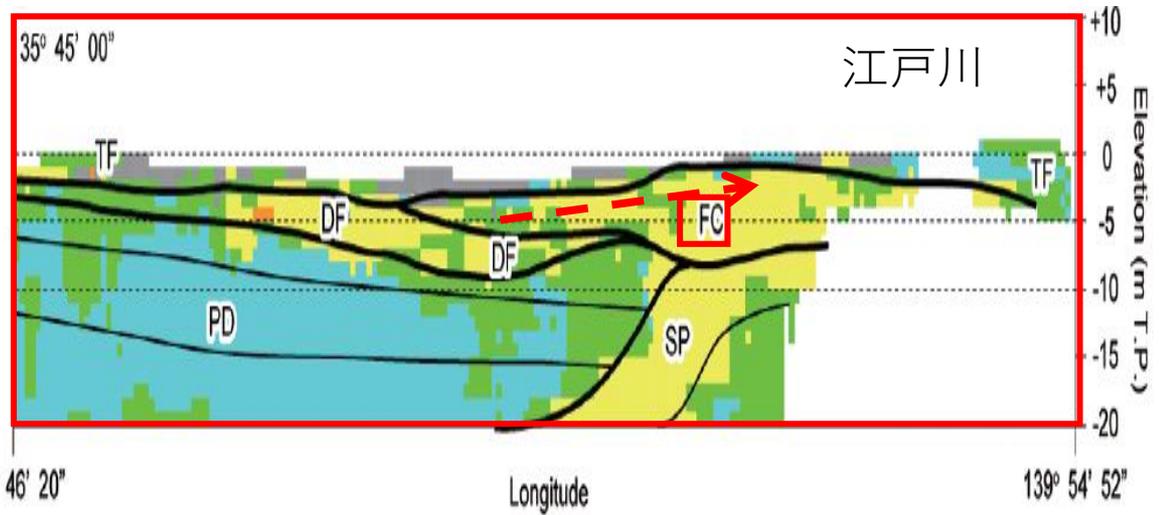
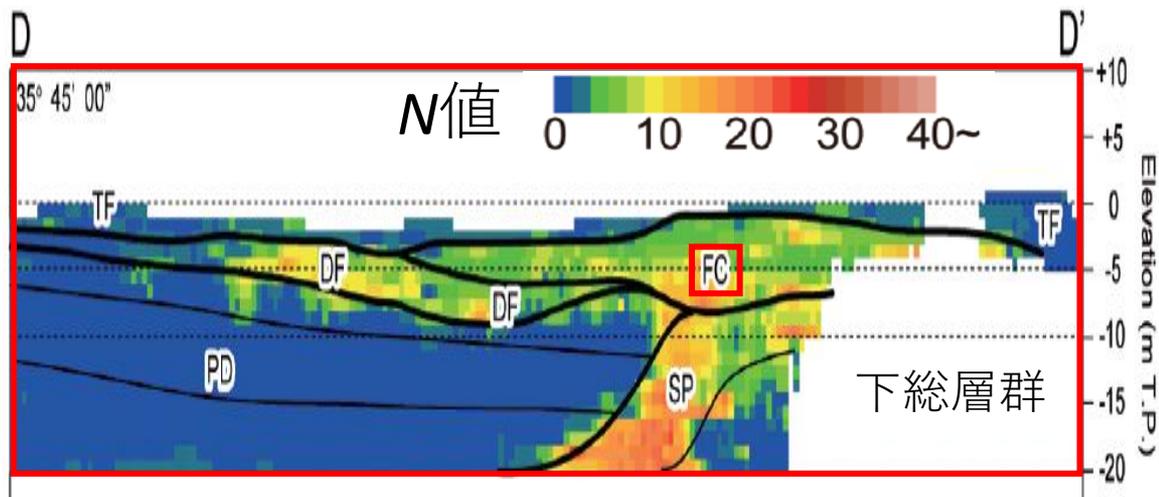
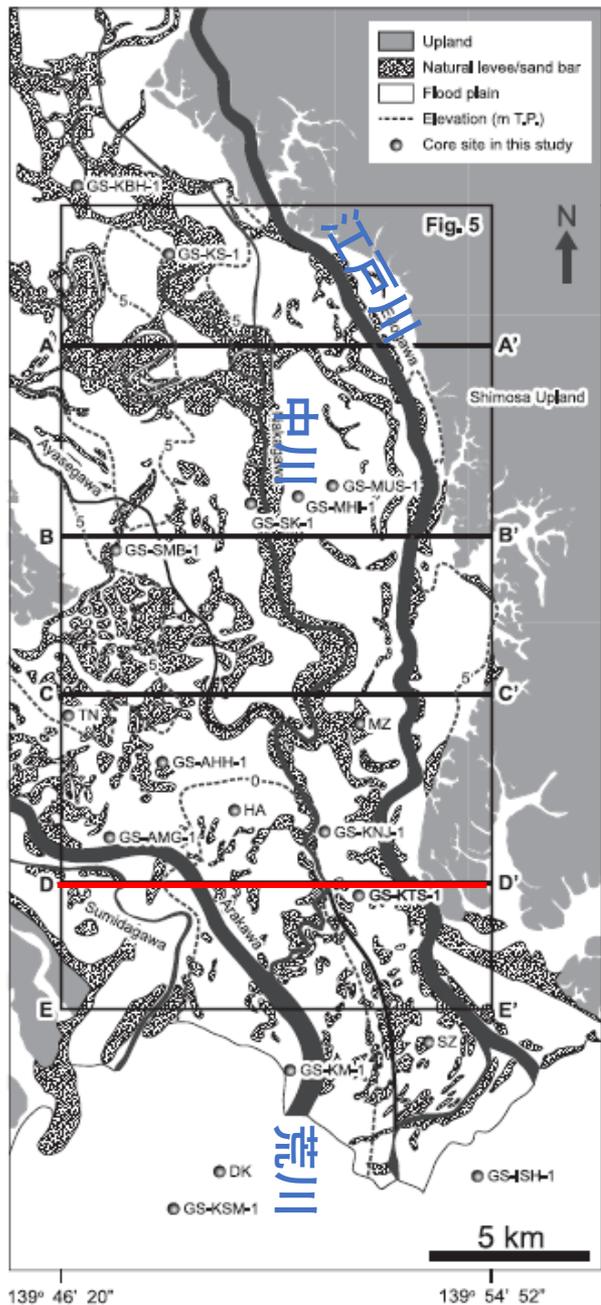
- Sand
- Mud
- Artificial soil
- Gravel
- Muddy sand/sandy mud

- FP: 後背湿地
- FC: 河川流路
- TF: 干潟

- DF: デルタフロント
- PD: プロデルタ
- SP: 砂嘴

田辺・石原, 2013

Figs. 2 & 4を改変



Lithology  
 Sand (Yellow), Mud (Light Blue), Artificial soil (Grey), Gravel (Orange), Muddy sand/sandy mud (Green)

FP: 後背湿地 (Backswamp)  
 FC: 河川流路 (River channel)  
 TF: 干潟 (Salt flat)  
 DF: デルタフロント (Delta front)  
 PD: プロデルタ (Prodelta)  
 SP: 砂嘴 (Sand spit)

田辺・石原, 2013

Figs. 2 & 4を改変

Fig. 8を改変

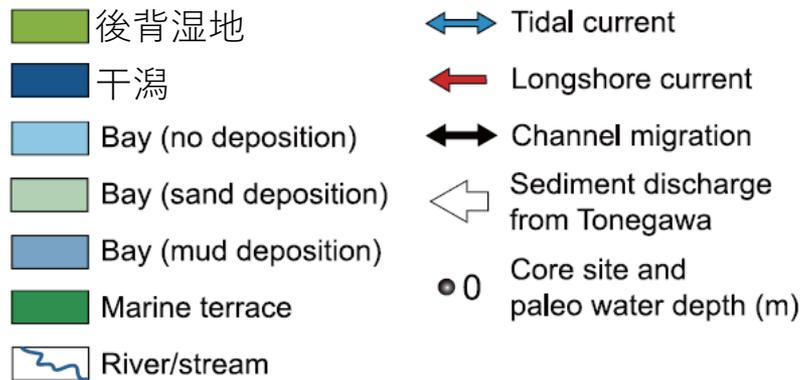
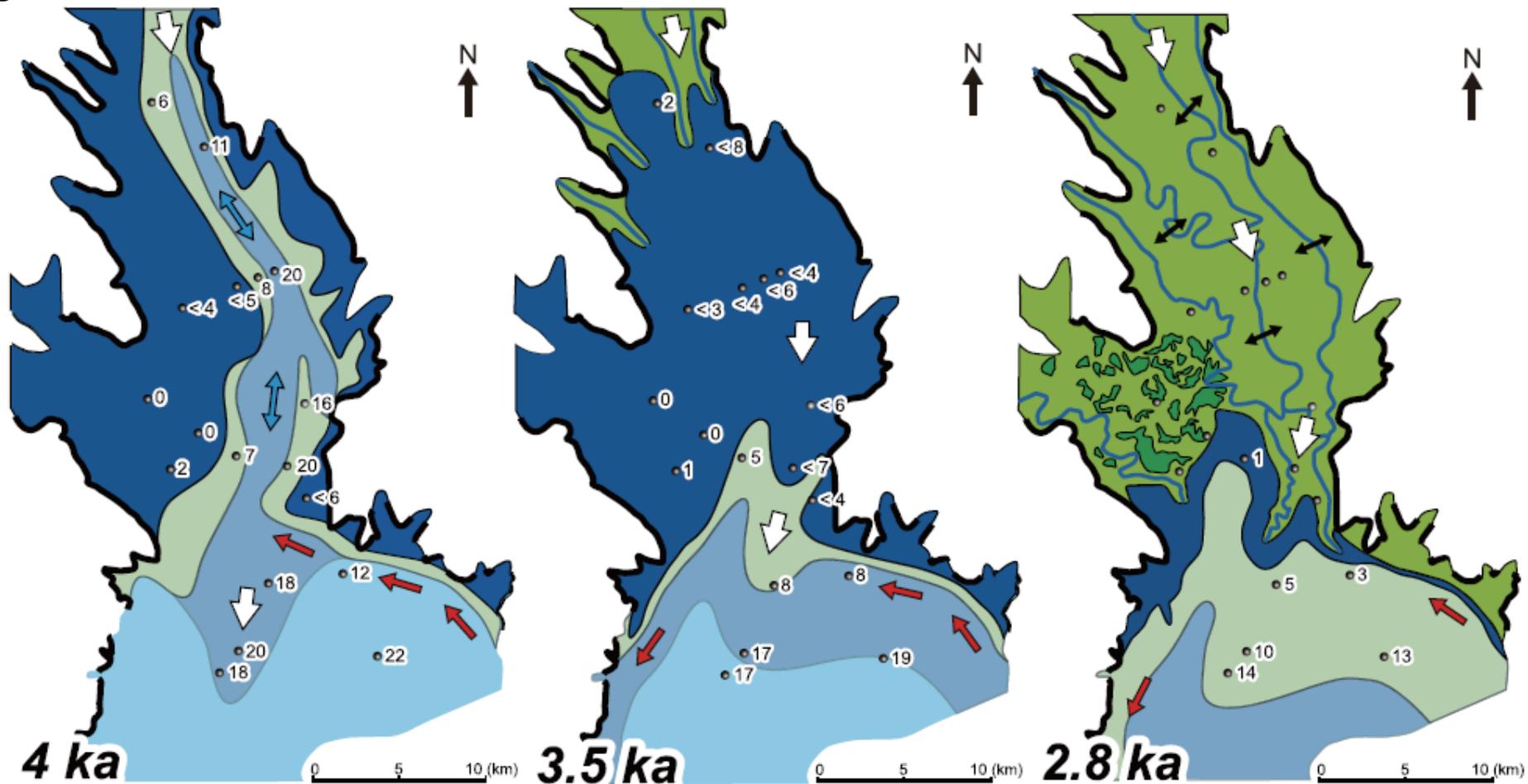
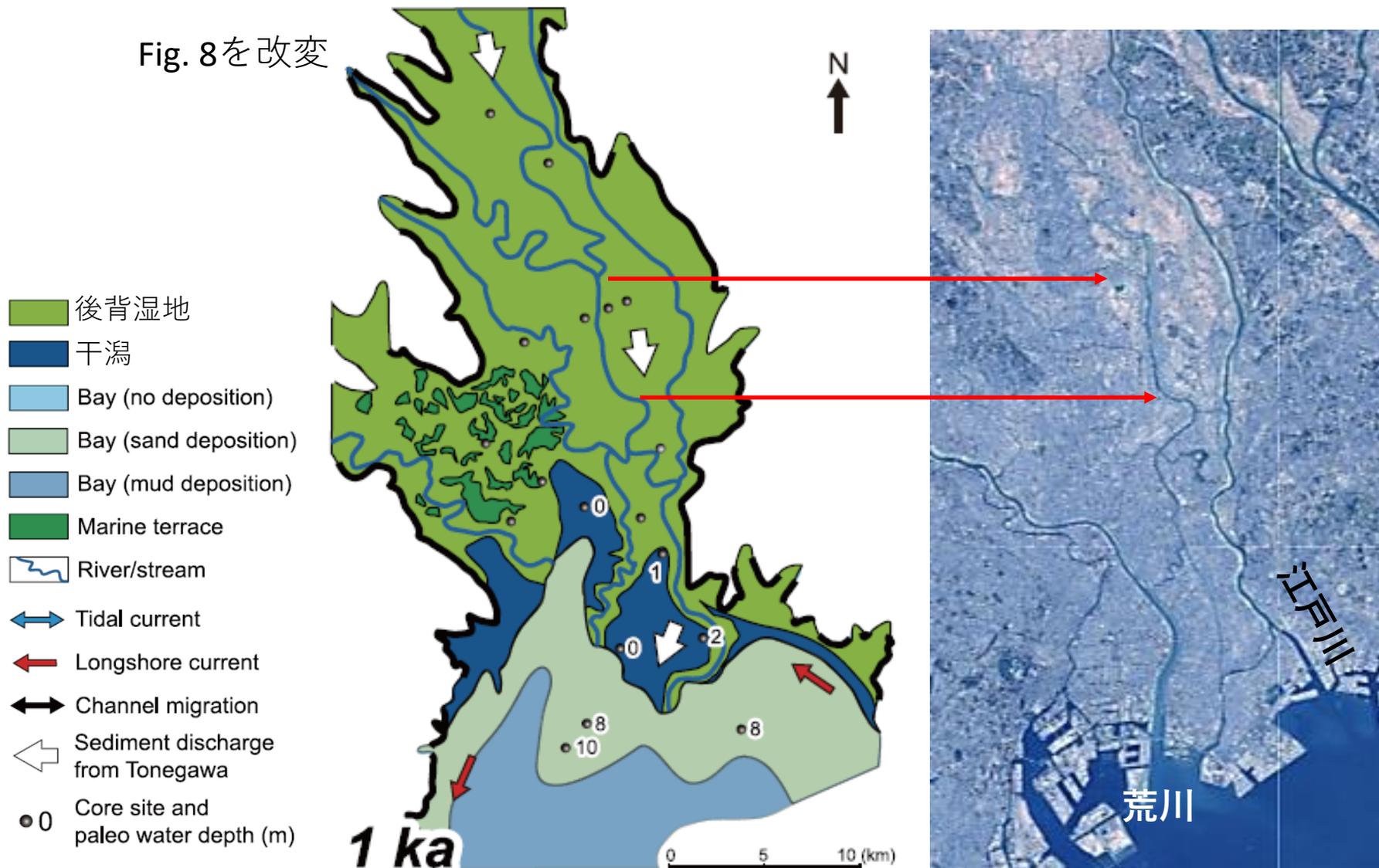


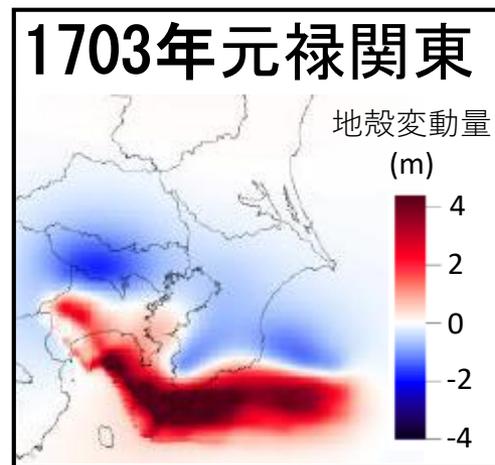
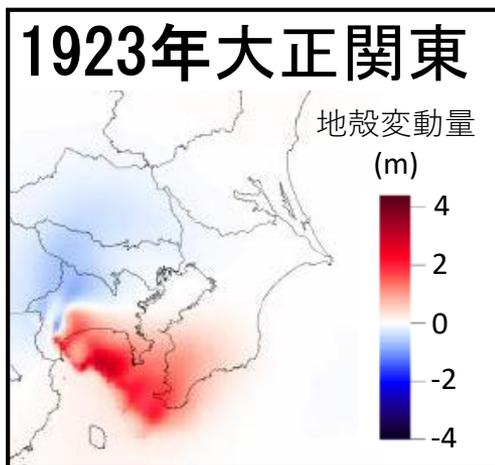
Fig. 8を改変



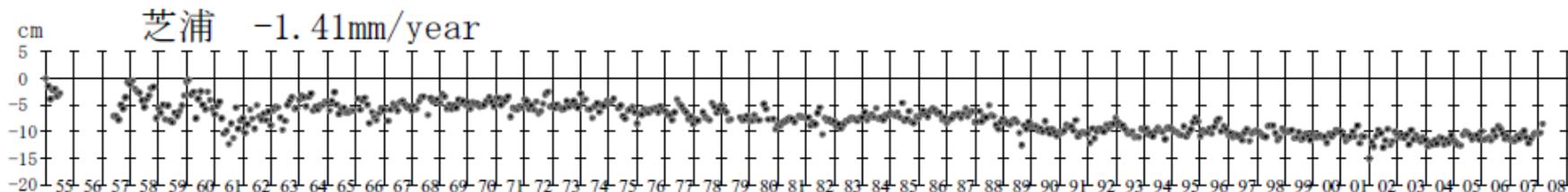
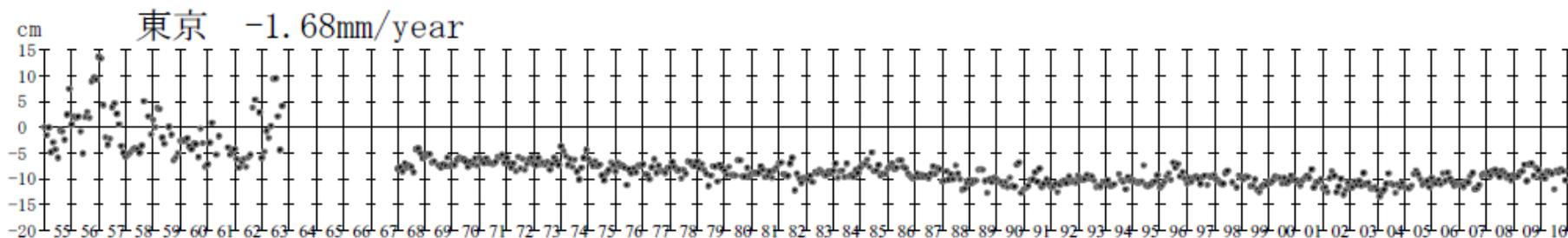
**Fig. 8.** Paleogeographic maps for the Tokyo and Nakagawa Lowlands at 4, 3.5, 2.8, and 1 ka; the flood plain in the Nakagawa Lowland at 2.8 ka was eroded by channel migration and avulsion, resulting in the development of sheet-like sand bodies. Paleogeographic maps at 4, and 3.5 and 1 ka are after Tanabe (2013) and Kubo (1994), respectively. Paleowater depths are calculated using radiocarbon dating and sea level elevations. Sea level at 4, 3.5, 2.8, and 1 ka is assumed to be T.P. + 2, +1, -1, and 0 m.

# 今後の洪水発生リスクの外的要因

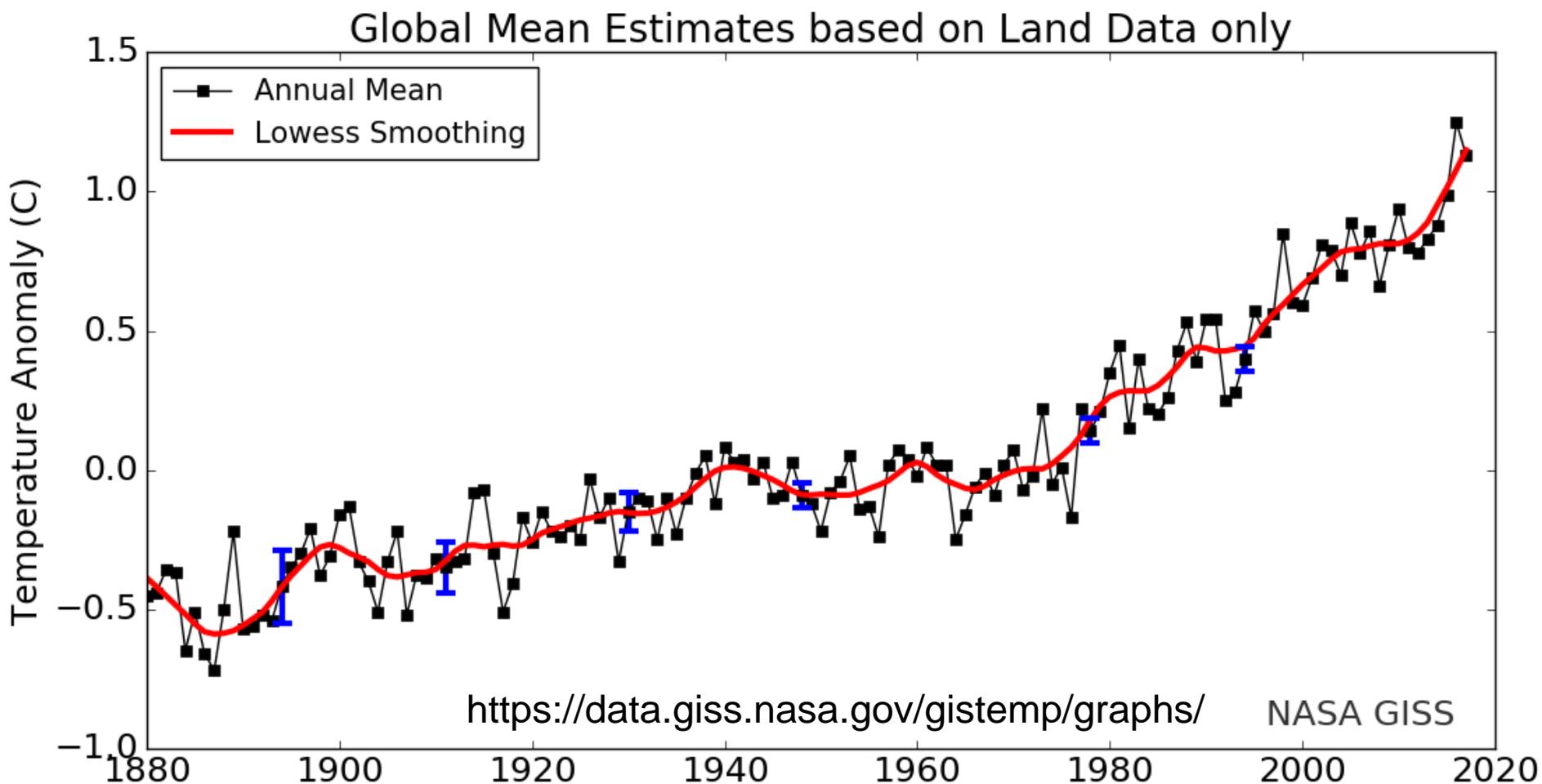
## 1. 地盤沈降による洪水リスク増加



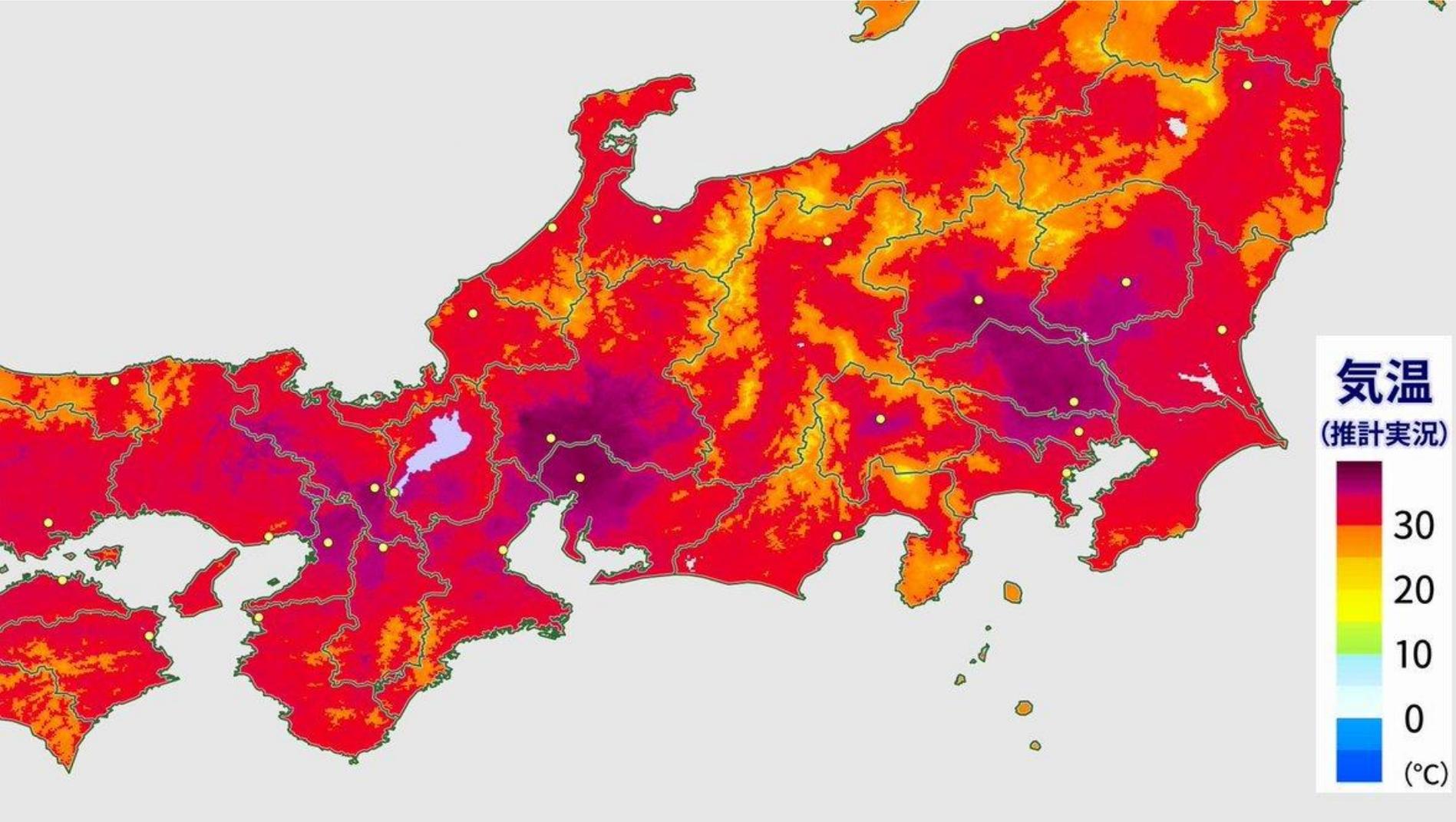
平成25年12月  
首都直下地震  
モデル検討  
会・資料の図  
32, 35を改変



## 2. 湿潤化, 海洋表層水温の温暖化

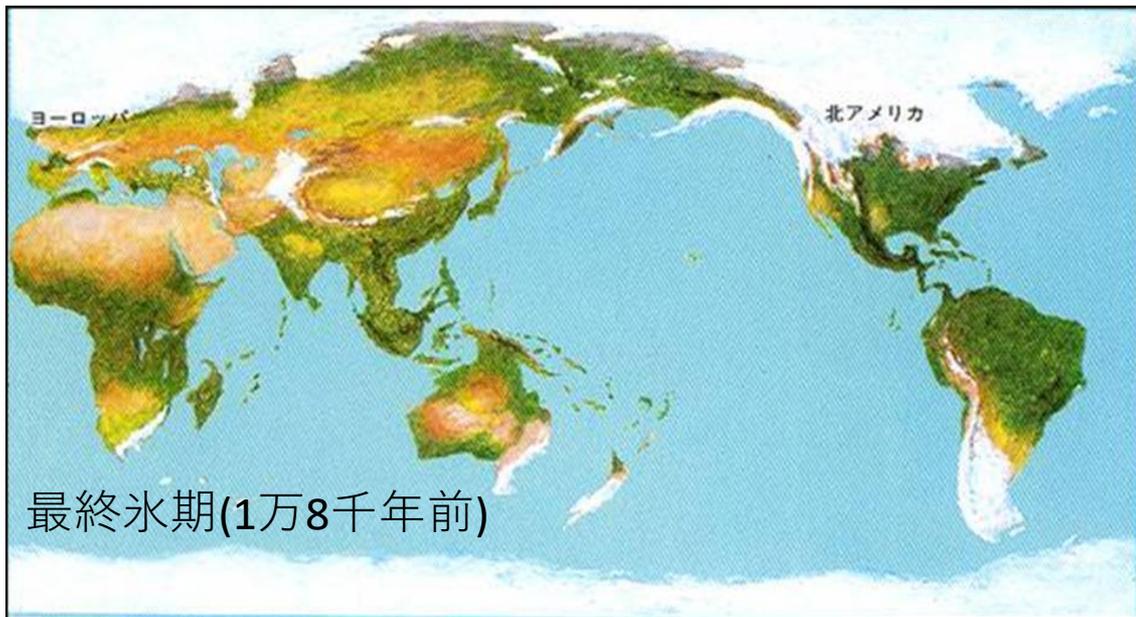
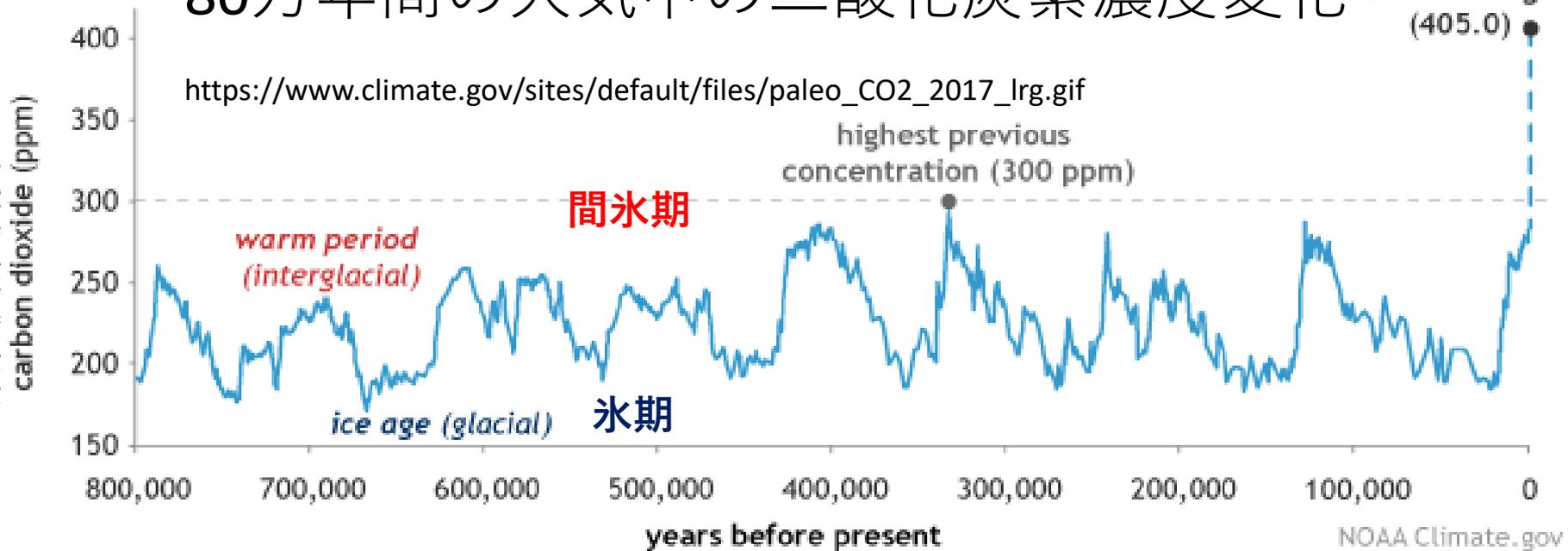


# 2018年7月18日最高気温



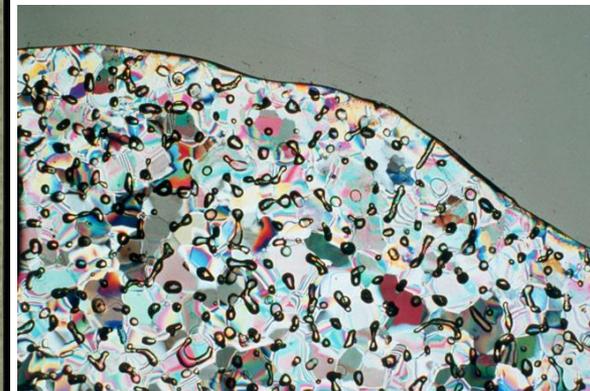
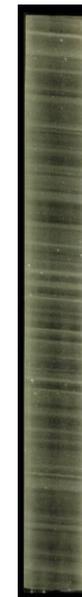
# 80万年間の大気中の二酸化炭素濃度変化

二酸化炭素濃度



暖かい地球と寒い地球 北村晃寿(文)・夏目義一(絵)

## 南極の氷床コア中の気泡

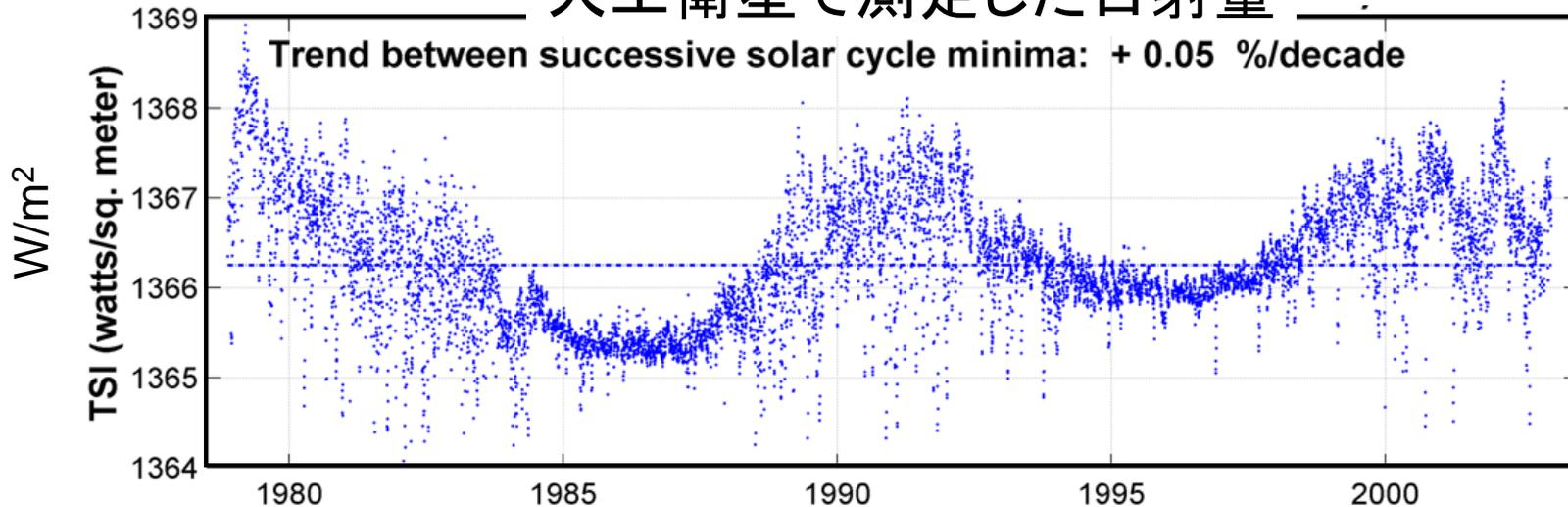


[http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:GISP2\\_Ice\\_Core.jpg](http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:GISP2_Ice_Core.jpg)

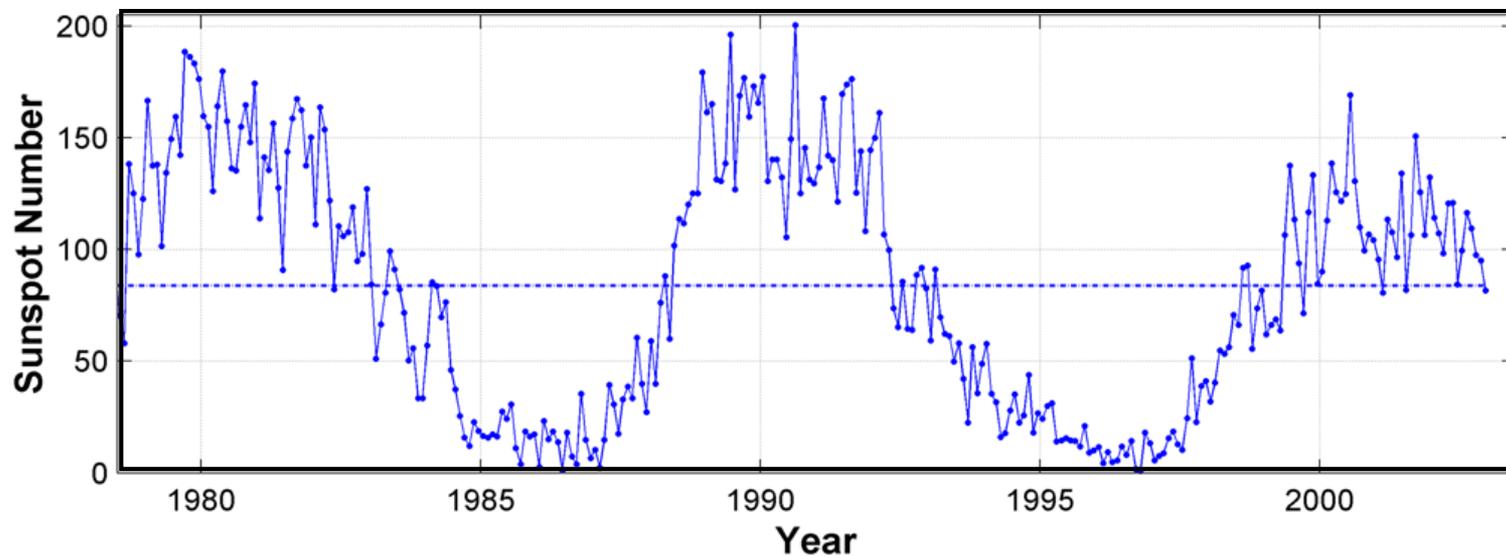
<http://www.csiro.au/science/IcePhotoGallery.html>

# 黒点数が増加すると、太陽からの日射量は増大！

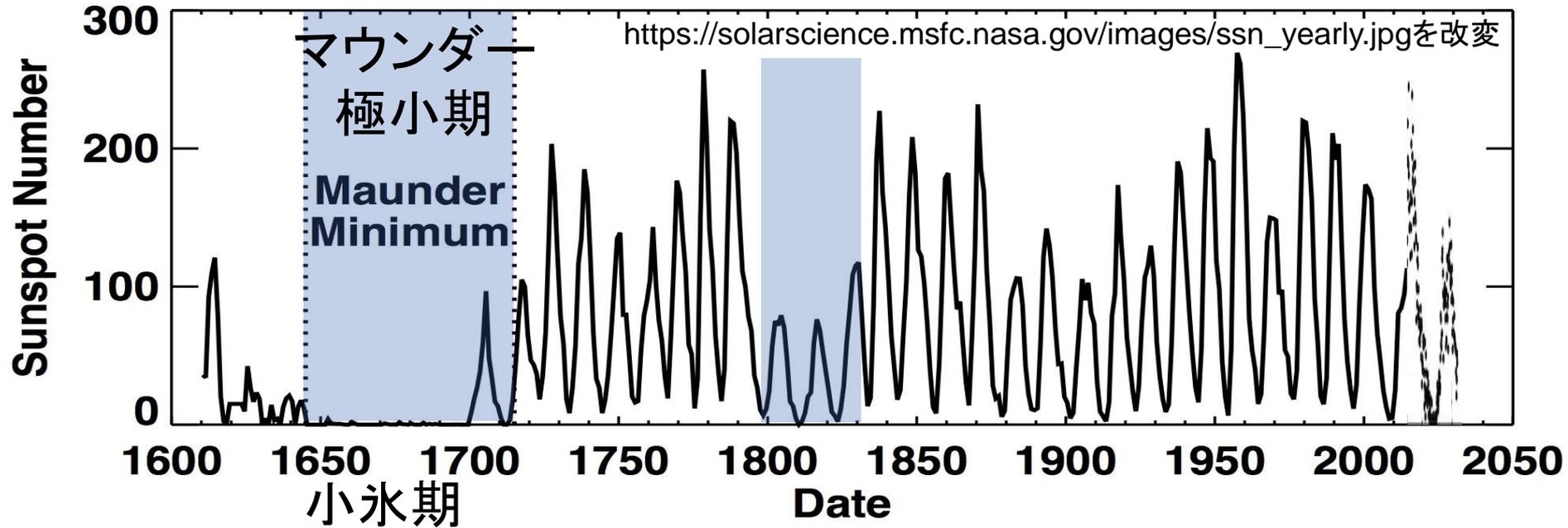
## 人工衛星で測定した日射量



## 黒点数



# 黒点数の時代変化



太陽黒点数は11年周期がある。変動の大部分は紫外線領域に集中し、大気上層で酸素とオゾン分子により吸収される。現在の温暖化の一部は、太陽活動の強化によるという考えもある。

# 3. 汎世界的海水準の上昇 河川排水能力の低下

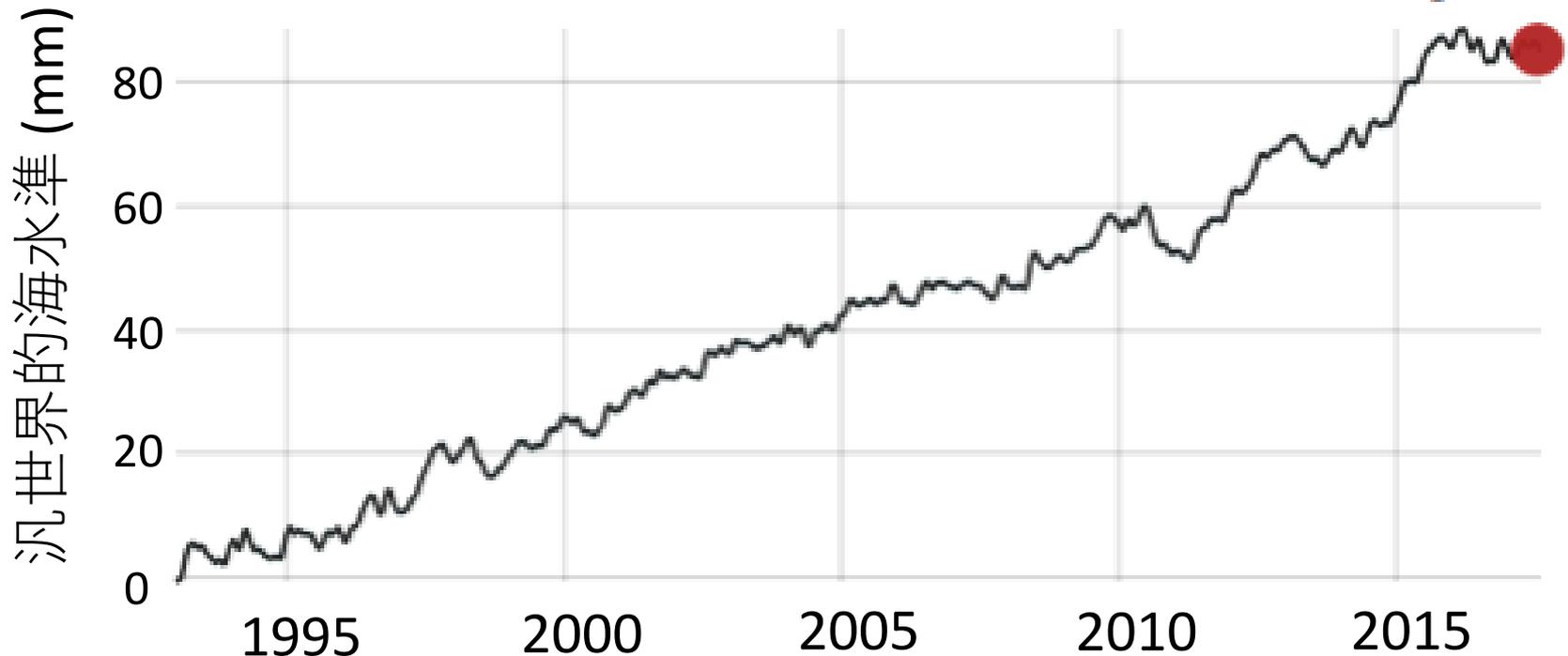
LITE DATA: 1993-PRESENT

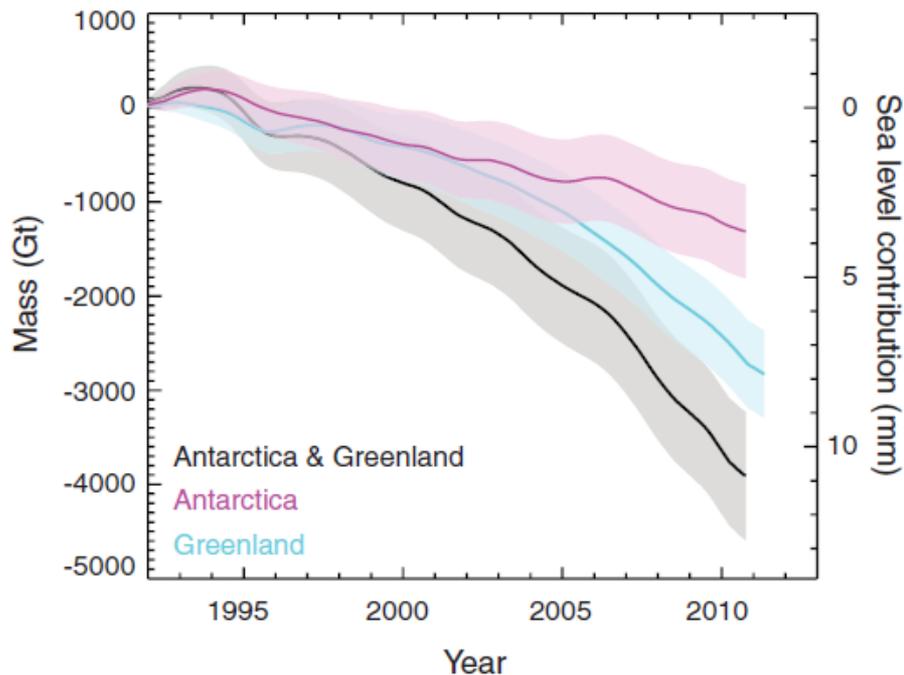
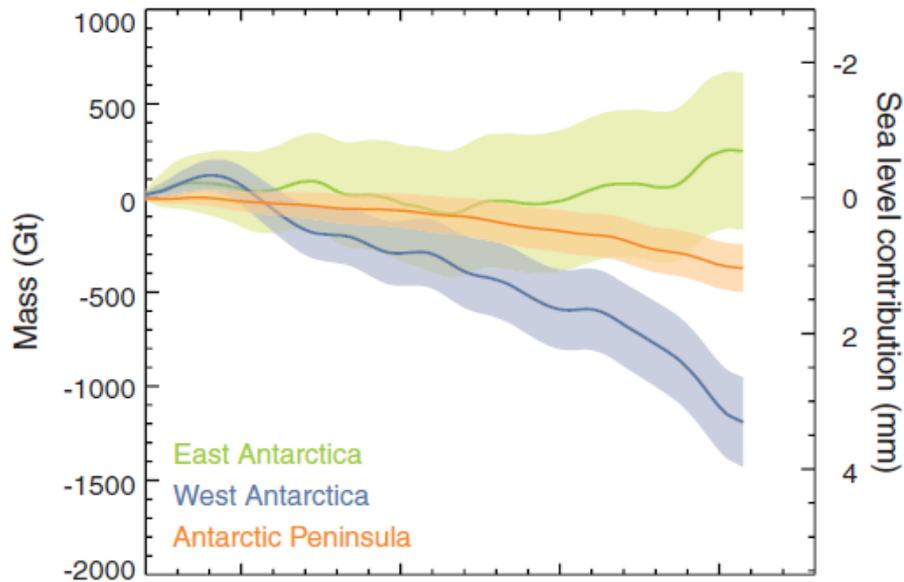
Source: Satellite sea level observations.  
NASA Goddard Space Flight Center

RATE OF CHANGE

↑ 3.4

millimeters per year  
margin: ±0.4





1992-2012年,全世界の海面は極地の氷の減少により約11.1ミリ上昇

# 氷床量の変化

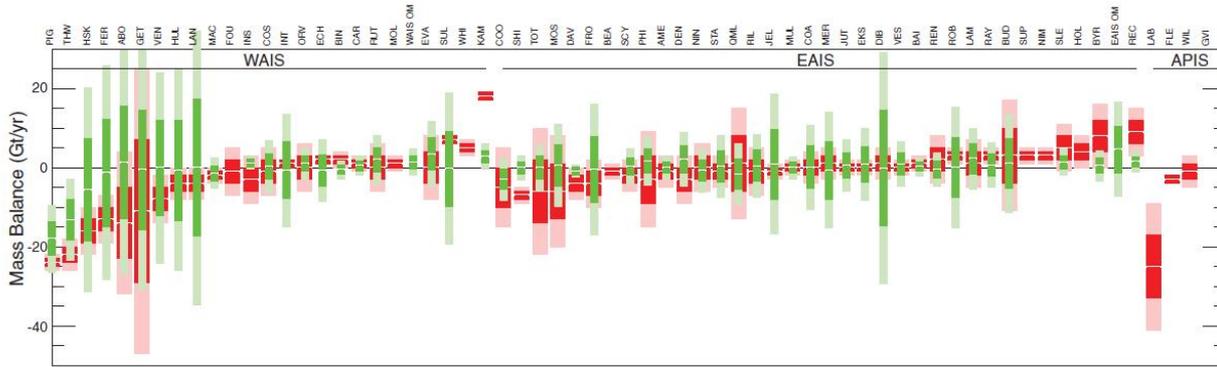


Fig. 1. Comparison of ice sheet mass balance estimates derived from satellite RA (green) and the IOM (red) over the period 1992 to 2011, with 1-sigma and 2-sigma error bars in dark and light shading, respectively, and mean values are shown in white. The comparison is performed for

52 Antarctic drainage basins (55) and the dislocated regions of East and West Antarctica that are omitted from the IOM survey (EAIS\_OM and WAIS\_OM, respectively). Basin locations are illustrated in the supplementary materials.

## 人工衛星データ

1992-2011年の20年間に消滅した氷量は、グリーンランド1520億トン、西南極650億トン、南極半島で200億トン。  
東南極は1年あたり140億トン増加。

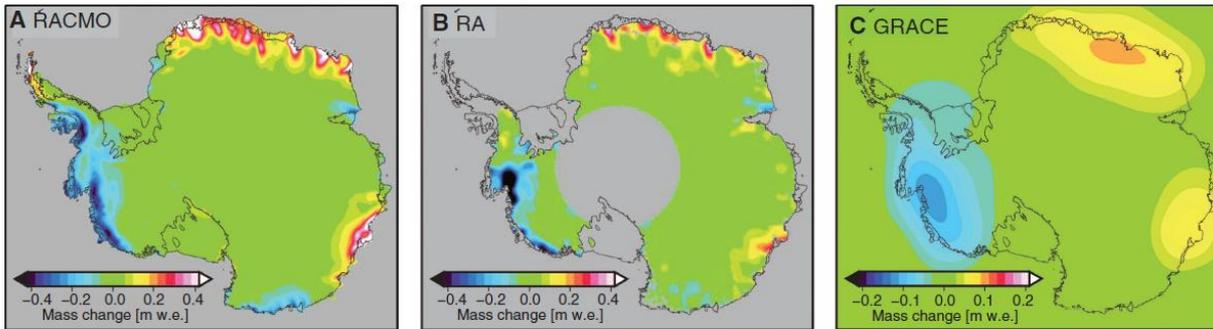
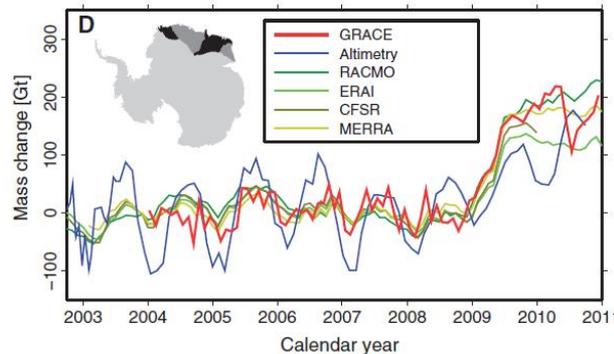
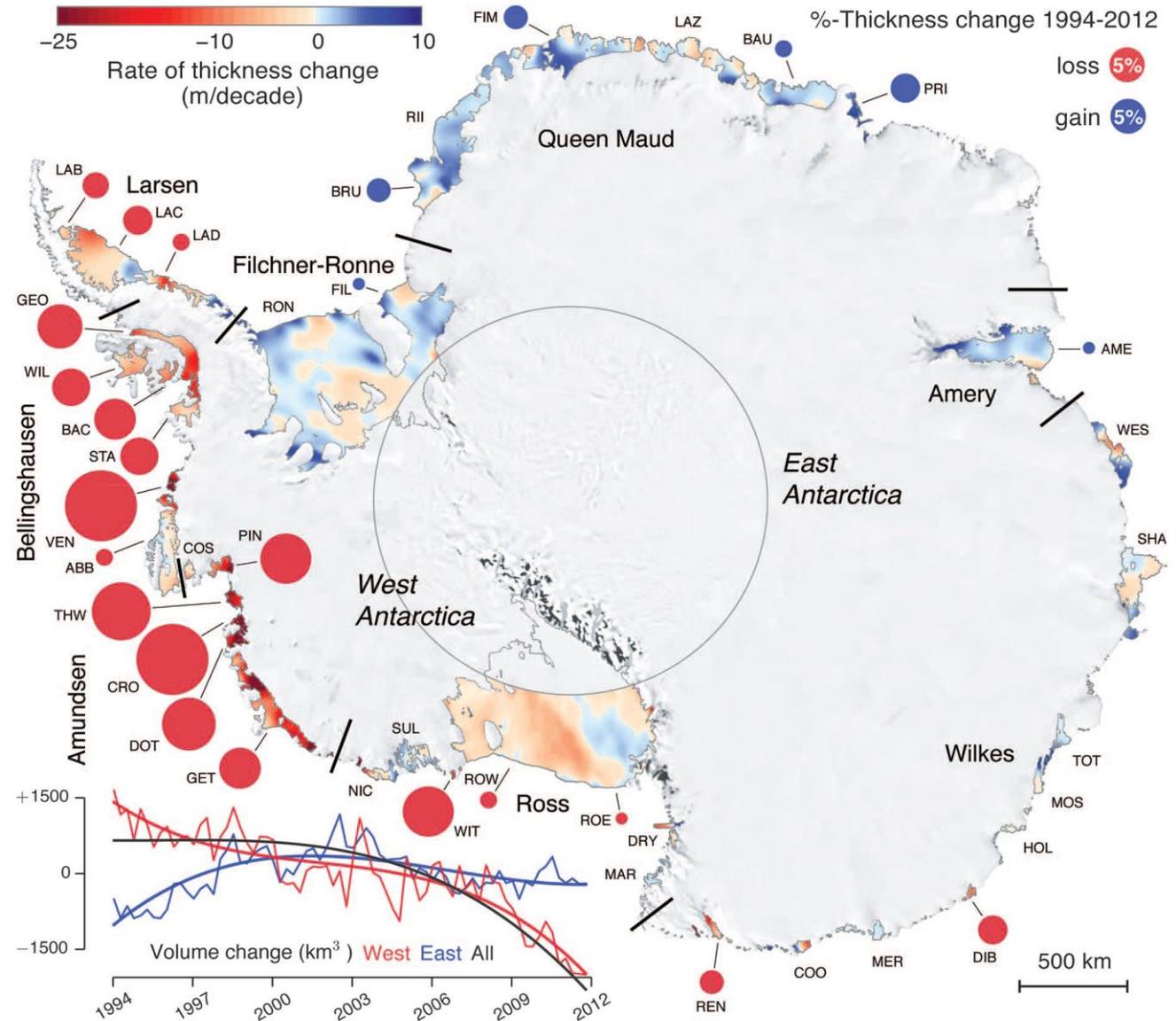


Fig. 2. Estimated anomalies in cumulative ice-sheet firn mass (A), and mass (B and C), derived from the RACMO regional climate model, satellite RA, and GRACE satellite gravimetry, respectively, over a period of anomalously high snowfall in East Antarctica. Anomalies were computed over the period July 2009 to July 2010 relative to July 2008 to July 2009. Before that, linear trends, as fitted to the 2003 to 2008 interval, were removed. The time evolution of the event, as resolved by these data sets and three additional climate models [ERA-Interim (ERA-I), CFSR, and MERRA], is also illustrated (D) as the average anomaly over four drainage basins of Dronning Maud Land in East Antarctica (shaded areas in inset map). Although there are SMB fluctuations elsewhere during the same time interval, the pattern of mass loss in West Antarctica is primarily associated with longer-term ice-dynamical imbalance. Relatively large annual cycles are present within some RA time series, but they do not obscure either short- or long-lived events. m.w.e., meters water equivalent.



# 海氷は氷床の流動を阻害 その厚さが減少

Fig. 1. Eighteen years of change in thickness and volume of Antarctic ice shelves. Rates of thickness change (meters per decade) are color-coded from -25 (thinning) to +10 (thickening). Circles represent percentage of thickness lost (red) or gained (blue) in 18 years. Only significant values at the 95% confidence level are plotted (table S1). (Bottom left) Time series and polynomial fit of average volume change (cubic kilometers) from 1994 to 2012 for the West (in red) and East (in blue) Antarctic ice shelves. The black curve is the polynomial fit for All Antarctic ice shelves. We divided Antarctica into eight regions (Fig. 3), which are labeled and delimited by line segments in black. Ice-shelf perimeters are shown as a thin black line. The central circle demarcates the area not surveyed by the satellites (south of 81.5° S). Original data were interpolated for mapping purposes (percentage area surveyed of each ice shelf is provided in table S1). Background is the Landsat Image Mosaic of Antarctica (LIMA).



# まとめ

## 洪水が作り出す地形と洪水堆積物

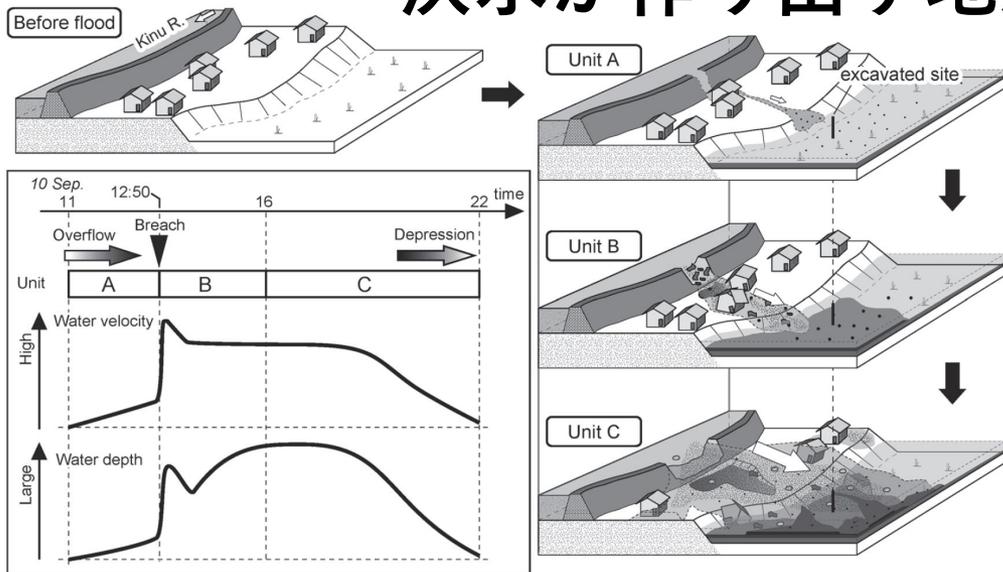


図 8 堆積相の特徴から推定される破堤堆積物の堆積プロセス

流速・水深はトレンチ掘削地点（ロープ）の周辺のものを示す。越水、破堤および浸水の収束時刻は、国土交通省関東地方整備局（2015）と常田（2015）に基づく。

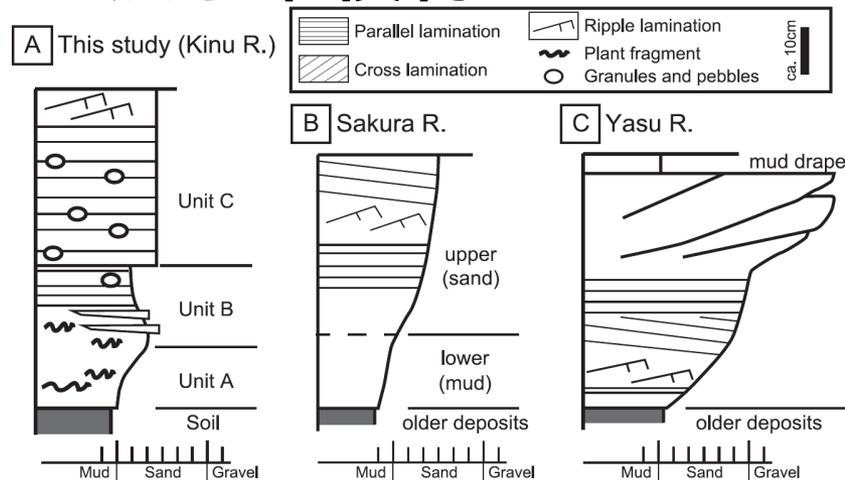


図 9 氾濫・破堤堆積物の模式層序

A : 鬼怒川中流域（本研究），B : 増田・伊勢屋（1985），C : 鈴木（1995）。

Fig. 9 Typical stratigraphy of crevasse splay and flood deposits

A : This study, B : Masuda and Iseya (1985), C : Suzuki (1995).

## 東京湾内の洪水リスク

- ・ 海溝型地震による津波のリスクは低い。
- ・ 地盤沈下
- ・ 温暖化による海水準上昇
- ・ 温暖化による気象変化

