

海洋アライアンス シンポジウム

第6回 東京大学の海研究

【 震災を科学する 】

2011年7月14日(木)
東京大学 農学部【弥生講堂・一条ホール】
10:30 ~ 18:00

主催:東京大学 海洋アライアンス

〜〜〜 プログラム 〜〜〜

総合司会：木暮一啓（大気海洋研究所）

10：30

開会のあいさつ

浦辺徹郎（理学系研究科）

10：40

【第1部】

司会：篠原雅尚（地震研究所）

東北地方太平洋沖地震の特性

平田 直（地震研究所）

東北地方太平洋沖地震の巨大津波の成因を探る

古村孝志（情報学環総合防災情報研究センター/
地震研究所）

13：30

【第2部】

司会：浦辺徹郎（理学系研究科）？

島弧－海溝系の長期的歪み蓄積過程から見た2011年東北地方太平洋沖地震

池田安隆（理学系研究科）

2004年スマトラ島沖地震

中埜良昭（生産技術研究所）

南海トラフの巨大地震と海底変動

芦寿一郎（新領域創成科学研究科/大気海洋研究所）

司会：村山英晶（工学系研究科）

15：45

貞観津波と大地動乱の九世紀

保立道久（史料編纂所）

都市の水管理システムから見た震災

福士謙介（サステイナビリティ学連携研究機構）

17：15

【総合討論】

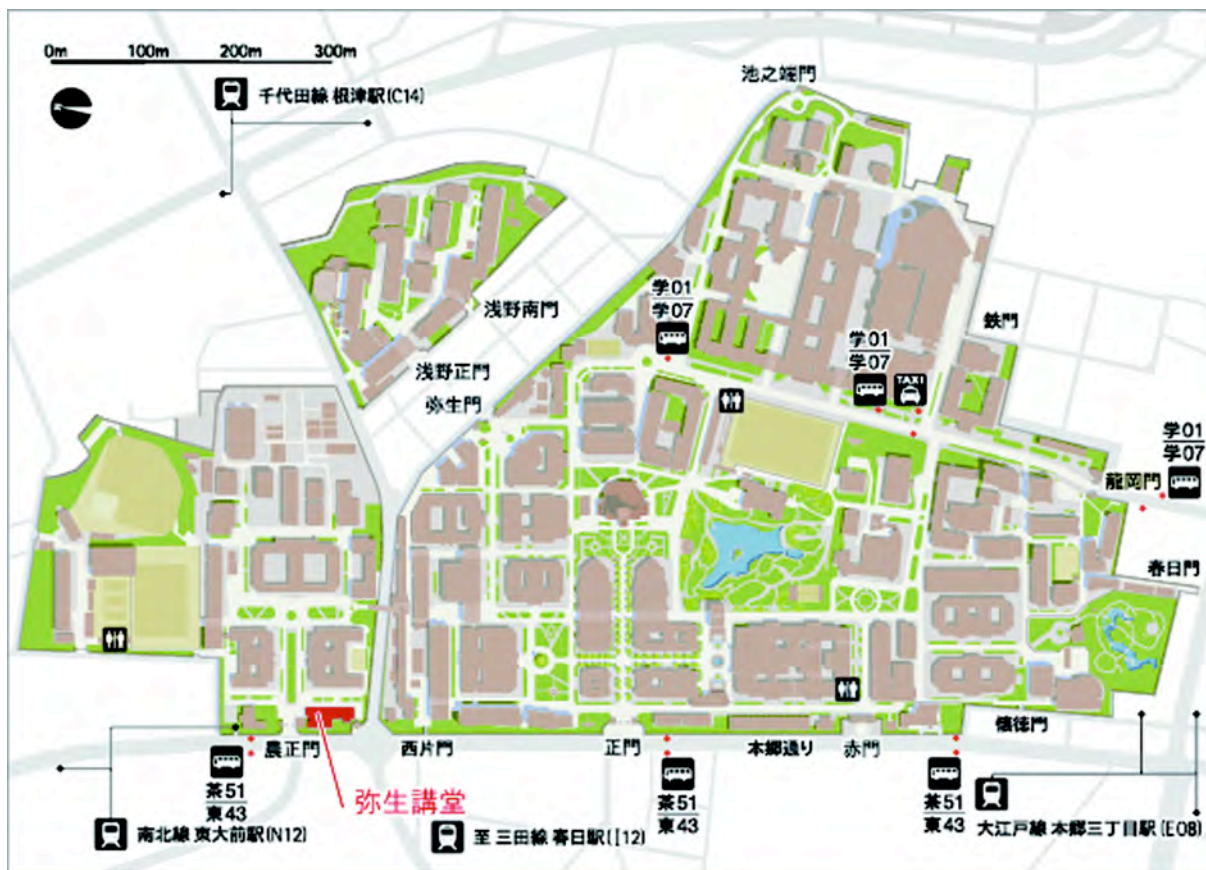
17：45

閉会のあいさつ

浦 環（生産技術研究所）

18：00

懇親会（弥生講堂アネックス）



シンポジウム会場(農学部，弥生講堂・一条ホール)位置図。

【会場】

東京大学農学部「弥生講堂・一条ホール」

〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

【交通】

地下鉄：南北線 東大前駅（徒歩 1 分）

千代田線 根津駅（徒歩 8 分）

丸ノ内線・大江戸線 本郷三丁目駅（徒歩 15 分）

都バス：御茶ノ水駅（JR 中央線，総武線）より，

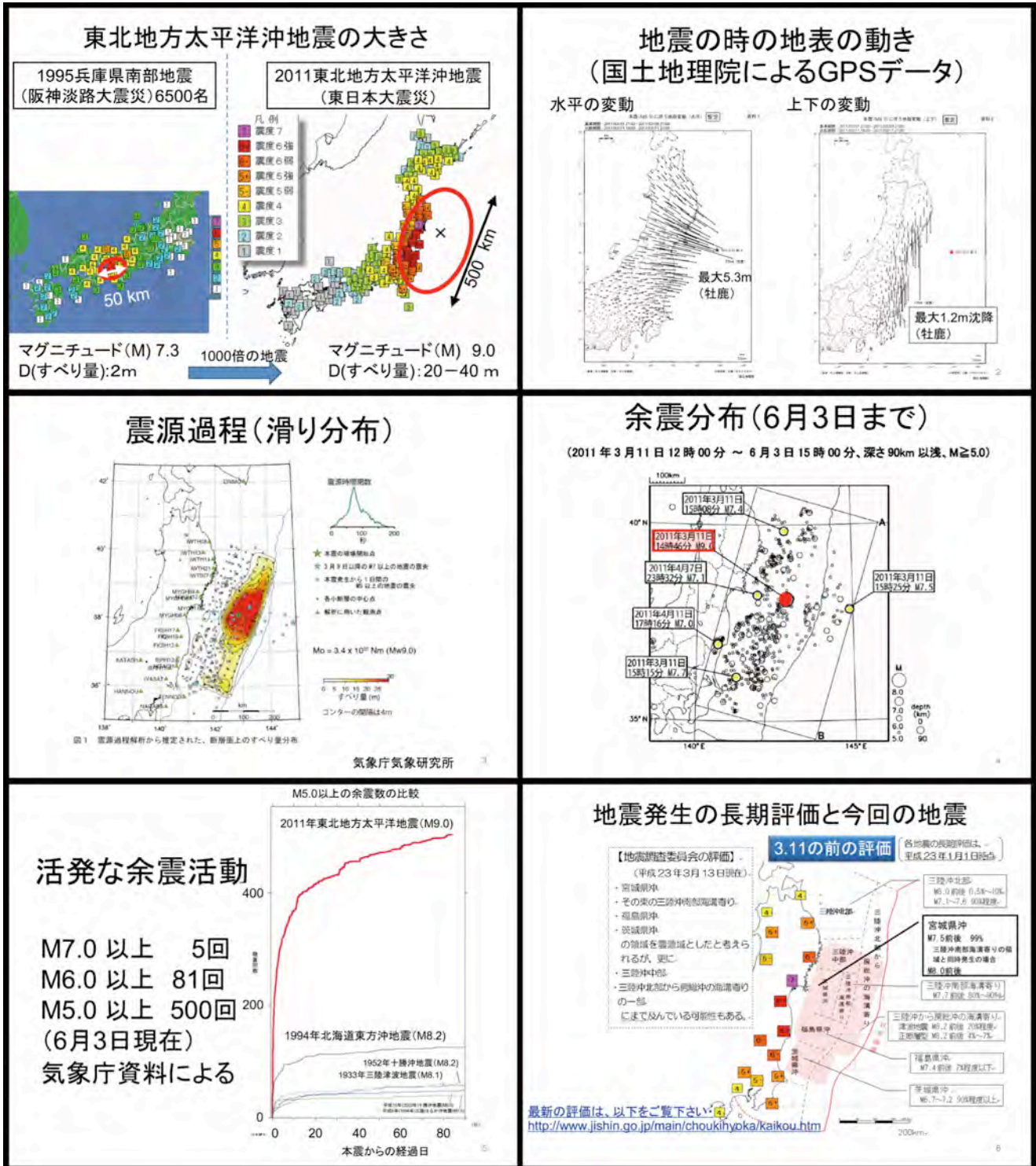
茶 51 駒込駅南口又は東 43 荒川土手操車所前行，

東大（農学部前バス停）下車徒歩 1 分

【第1部】

東北地方太平洋沖地震の特性

平田 直 (地震研究所)



【第1部】

東北地方太平洋沖地震の巨大津波の成因を探る

古村孝志（情報学環総合防災情報研究センター/地震研究所）

海洋アライアンス シンポジウム 「震災を科学する」(2011/7/14)

東北地方太平洋沖地震の巨大津波の成因を探る

古村 孝志
(東京大学 情報学環 総合防災情報研究センター/地震研究所)



1. 東北地方太平洋沖地震と津波
2. 東海・東南海・南海地震の課題
3. 津波の即時把握そして防災へ

海底ケーブル津波計が捉えていた、沖合の大津波



5mを超える大津波が陸に向っている

釜石沖ケーブル津波計 (東北沖合50~80km)

断層滑り量の推定 Maeda et al. (2011)

海溝付近で55mの断層運動

東北地方太平洋沖地震 = 連動+津波地震



地震調査委員会(1999)に加筆

1896年 明治三陸地震(M8.4)

2011年 東北地方太平洋沖地震(M9.0)

1677年 延宝地震(M8.0)?

延宝地震(中央防災会議資料)

南海トラフ4連動発生による津波: 宝永地震+慶長地震



宝永地震M8.6 + 慶長地震M8.2

宝永地震M8.6

房総

1707年宝永地震(M8.6)

1695年慶長地震(M8.2)

観測-シミュレーション融合 次世代津波防災システム

★リアルタイム津波予測・ハザードマップ

(入力) 沖合ケーブル津波計、地震計データ
(警報) 沿岸津波・浸水の予測、モニター・修正繰り返し

【減災】沿岸波高・浸水の予測 (5分以内、更新)

【計算】津波波源推定・津波伝播予測(2分以内)

【観測】海底ケーブル津波計 JAMSTEC, DONET等



津波被害予測

沿岸津波高予測

浸水予測

海底ケーブル津波計

東北日本大震災・そして次の地震・津波に備える

1. 東日本大震災-強震動と津波
 - ・「大地震連動」+「津波地震」の超巨大連動発生
 - ・強震動、長周期地震動レベルは比較的小さい?
2. 東海・東南海・南海地震に備える
 - ・既知の最大(宝永地震)の想定で十分か?
 - ・宝永地震+慶長地震の連動発生と大津波
3. 事前予測の限界、直後警報へ
 - ・地震・津波センサーの高密度展開
 - ・地震、地殻変動、津波の同時評価
 - ・観測-計算融合、リアルタイム予測・警報



【第2部】

島弧—海溝系の長期的歪み蓄積過程から見た
2011年東北地方太平洋沖地震

池田安隆（理学系研究科）

島弧—海溝系の長期的歪み蓄積過程からみた 2011年東北地方太平洋沖地震

東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻
池田安隆

目次

1. 東北地震(2011.3.11)の特徴
2. 地学的歪み速度と測地学的歪み速度の不一致
 - (1) 水平短縮速度
 - (2) 隆起/沈降速度
3. 島弧の歪み収支と超巨大歪み解放イベント
4. 超巨大歪み解放イベントは予測可能か？

過去~100年間における東北日本弧の水平短縮速度 = 30-50 mm/yr ($1\sim 3 \times 10^{-7}$ strain/yr)

GPS 観測 (1997/01-1999/07): Sagiya et al. (2000) による
三角/三辺測量 (過去 ~100 年間) Hashimoto (1990) による

地質学的に観測される東北日本弧の永久変形(非弾性変形) = 4-7 mm/yr ($2\sim 3 \times 10^{-8}$ strain/yr)

Okada and Ikeda, 2011, JGR (under review)

東北日本弧における長期的(地質学的時間スケールでの) 歪み速度に関するまとめ:

地質構造から: 4-7 mm/yr
広域的隆起速度データから: < 6-8 mm/yr

→

- ・地質学的に観測される長期的歪みは永久変形(非弾性変形)である; 東北日本弧における長期的な水平短縮速度は、日本海溝にでのプレート収束速度(80-90 mm/yr)の10%以下に過ぎない。
- ・過去~100年間の測地観測によって測定された短期的な地殻水平短縮速度(30-50 mm/yr)は、長期的歪み速度に比べておよそ一桁大きい。
- ・したがって、現在(まで~100年間)観測している異常に早い水平短縮歪みの大部分(>90%)は弾性歪みであり、沈み込み帯でのすべり(=地震)によって解放されるはずである。
- ・日本海溝では過去~100年間に Mw 7-8 の沈み込み型地震が多数起っているが、東北日本弧の地殻歪みは解放されていない。

太平洋岸の潮位観測データ

- ・極めて速い速度で沈降している(最大~10 mm/yr);
- ・この間に Mw 7-8 のプレート境界地震が沢山起っている;
- ・しかしこれらの地震に伴って地震間の沈降は回復(隆起)していない。

東北日本島弧-海溝系における歪みの蓄積と解放のメカニズム

- ・地震を伴う急速なすべりは浅い固着域(深度 0-50 km; 赤実線)だけで起こった;
- ・固着域の深部(深度 50-100 km; 青実線)は未破壊であった;
- ・この深部未破壊領域では余効すべり(地震を伴わないゆっくりとしたすべり)が今後10年ないしそれ以上に継続し、最終的にすべての歪みが解消されると考えられる。

【第2部】

2004年スマトラ島沖地震

中埜良昭（生産技術研究所）

海洋アライアンス
第6回 東京大学の海洋研究 ―震災を科学する―
@農学部・弥生講堂 2011/07/14

2004年スマトラ島沖地震津波による建物等被害とその示唆するもの

東京大学生産技術研究所
中埜良昭

- ◆被害の概要
- ◆設計用津波荷重に関する検討
- ◆東日本大震災での被害との関係

スマトラ島沖地震津波 ppt /-1

地震の概要 (USGS)

日時：2004年12月26日
07:58 am (Local)
規模：Mw 9.1
深さ：30km

余震域：1000km以上
破壊継続時間：400秒
(破壊伝搬速度を2.5 km/sとして)
Mw 9.4, 断層上下ずれ約40mとの報告 (ハム) あり

スマトラ島沖地震津波 ppt /-1

被害の概要 Banda Aceh, Indonesia

スマトラ島沖地震津波 ppt /-3

設計用津波荷重の検討

$q_x = \rho g (3h - z)$: 津波避難ビルガイドラインの提案式
 $p_x = \rho g (a \eta_{max} - z)$: 今回の検討式

q_x : 構造設計用の津波波圧 (kN/m²)
 ρ : 水の単位体積質量 (1/m³)
 g : 重力加速度 (m/s²)
 h : 設計用浸水深 (m)
 z : 当該部分の地盤面からの高さ
 p_x : 最大浸水深 η_{max} の時の津波波圧 (kN/m²)
 a : 水平耐力相当の津波高さの実津波高さに対する倍率
 η_{max} : 最大浸水深の実測値 (GLからの津波高さ (m))

スマトラ島沖地震津波 ppt /-3

壁部材の係数aと被害程度の関係

スマトラ島沖地震津波 ppt /-5

まとめ

検討式： $p_x = \rho g (a \eta_{max} - z) \Leftrightarrow \rho g (3h - z)$: ガイドライン式
 a : 水平耐力相当の水深 h の最大浸水深 η_{max} に対する倍率
 η_{max} : 最大浸水深 (津波高さのGLからの実測値) (m)

- ◆被害/無被害の区分
 壁部材： $a = 2.5$ 程度 } \Leftrightarrow ガイドライン式： $a = 3$
 柱部材： $a = 2$ 程度 }
 \Rightarrow ガイドラインの津波設計荷重 ($a = 3$) はおおむね妥当
 しかし、
- ◆漂流物対策 } \Rightarrow 別途検討が必要
- ◆開口配置の工夫 } \Rightarrow 別途検討が必要

スマトラ島沖地震津波 ppt /-6

【第2部】

南海トラフの巨大地震と海底変動

芦寿一郎（新領域創成科学研究科/大気海洋研究所）

南海トラフの巨大地震と海底変動

サブボトムプロファイラーを搭載した無人探査機 NSS (Navigable Sampling System)

芦寿一郎
(東京大学新領域創成科学研究科 / 大気海洋研究所)

KANAME

深海底における断層活動の推定手法

観測	湧水活動	断層変位 海底音響測距 (東北大)
採泥	振動変形	重力流・地すべり
	断層変位	崩落堆積物

地球深部探査船「ちきゅう」による地震発生帯の掘削

IODP NanTroSEIZEプロジェクト (南海トラフ地震発生帯掘削計画)

掘削点の分布

南海トラフ地震発生帯

4 cm/年

後部低周波地震

深部低周波地震・地震

風野海盆

過去の付加体

付加体

タービダイト

四国海盆堆積層

海洋地殻

0 10 km

南海トラフの海底地形。階段状の地形は活断層の運動によって生じたもの。星印は海底湧水の分布を示す。

巨大分岐断層上盤における強震動変形堆積層の発見 (Sakaguchi et al., 2009, 2011)

Hanging wall effect

強震動

懸濁

砕けて浮上

上盤

下盤

Optical image

X-CT image

Schematic column

age

17.04 yr (Pb-210)

3313 (±34) yrBP (C-14)

10026 (±45) yrBP (C-14)

Micro-event deposit

Event deposit

Open CT frontal zone

Mud-clast

Sandstone

Horizontal layer

NSSIに搭載したサブボトムプロファイラーで明らかになった活断層による海底付近の変形

Line 92

Line 94

巨大分岐断層による海底付近の変形

変位の累積のみられる正断層

【第2部】

貞観津波と大地動乱の九世紀

保立道久（史料編纂所）

貞観津波と大地動乱の8・9世紀

史料編纂所 保立道久

はじめに——今村明恒の提言

- 列島の「地震の旺盛期」の基準 — 「三陸沖地下大活動」
- (1)7世紀末期から9世紀末——貞観津波が代表
- (2)16世紀末から18世紀初頭、
- (3)19世紀半ば以降

「とくに第1期、第2期はその期間あまり長からざるにかかわらず、地震活動が、この間に本邦における地震帯の全系統を少なくも一巡している。各期における活動の原因が広く日本に対して働きつつあった一勢力にありとみる時、斯様な現象の起こるのもむしろ自然のように思われる」

(『地震』8巻3号、12号、1936年。理学部地震学教室)

I 貞観大津波とその前後

まず史料

- ◆ 陸奥国の地、大いに震動す。流光、昼の如く隠映す。しばらく人民叫呼して、伏して起きることあたわず。あるいは屋倒て圧死し、あるいは地裂けて埋瘡(埋死)す。馬牛は駭奔し、あるいは互いに昇踏す。城郭・倉庫・門櫓・牆壁など頽落して顛覆すること、その数を知らず。海口は哮吼し、その聲、雷霆に似る。驚濤と涌潮と、浜洶し、漲長して、忽ちに城下に至る。海を去ること数十百里、浩々としてその涯を弁せず。原野道路、全て滄溟となる。船に乗る暇あらず、山に登るも及び難し。溺死するもの千ばかり、資産・苗稼、殆ど一つとして遺ることなし(『日本三代実録』貞観十一年五月廿六日条)。

現代語訳

- ◆ 陸奥国の大地が大いに震動した。(夜)、流光が昼のよう空をおおい照らした(地震発光の最初の記録)。直後、人民は叫び呼び、地面に伏して起きあがれない。家屋が倒れて圧死し、断層の中に埋まって死んでしまう。馬牛は、驚き走って踏みつけあう。城郭や倉庫、門櫓、垣壁などの崩落と転倒は数知れない。海口は吠えたり、その声は雷電のようであった。そして、激しい波と高潮がやってきて、川をさかのぼり、また漲り進んで、たちまち多賀城直下に到来した。海を離れること数十百里の距離まで冠水した様子は、広々としてその果てを区別できない。原野や道路はすべて青海原、船に乗る余裕もなく、山に登る時間もなく、その中で、溺死するものは千余人。資産や田畠の作物は、ひとつとして遺ることなく全滅した。

貞観津波 (M8.3?) と 3・11津波 (M9) の比較

プレート境界地震としての共通性と差異 津波波及・冠水域の比較——今後の調査が必要

- ◆ 3.11津波の波及域。北上川、河口から約50^{km}、11センチの水位変化(田中仁教授・水工学の調査)。冠水域。内陸約5^{km}(道路でストップ)
- ◆ 貞観津波の波及域。不明。冠水域。文章表現、「海を去ること数十百里」=数十と百の間、漢文の語法では八十里と一〇〇里の間=約50^{km}前後。ボーリング調査。石巻平野から磐城海岸まで、海岸線から三^{km}内陸へ三^{km}から五^{km}ほどの砂層。矛盾
- ◆ 貞観津波が大きい? 条件の相違?。(1)史料表現に修飾?、(2)海岸岸構築物の不在、(2)旧暦五月という季節性(灌漑井堰の破壊)、(3)地盤沈下規模の相違。

震源位置——貞観津波は北よりか

- ◆ 3.11京都震度3?。貞観地震、京都有感記録なし(震度2以下か)。
- ◆ 三陸のリアス式海岸湾内、堆積層が少なく、ボーリング調査困難。
- ◆ 貞観津波は3.11と相違して常陸、上総国まで及んでないか。Mをどう考えるか。

貞観津波の特徴

余震の広がり——「自余国々」の地震

- ◆ 一月半後——大和国地震——名張断層の延長部
 - ◆ 半年後、肥後国の津波地震——雲仙・有明海の活断層?
 - ◆ 九州の地震と火山フロントの背景
- アムールプレートとフィリピン海プレートの衝突とマントルの上昇流。

韓半島地震との連動

- ◆ 韓国の地震、870年四月(王都慶州)、872年4月(同)、875年2月(王都および東部)。『三国史記』による。『大日本地震史料』採録漏。
- ◆ 8・9世紀は韓国でも「地震の旺盛期」だが、870年代の集中は特異。
- ◆ 十和田カルデラ(列島の有史最大)と韓半島白頭山の噴火の連動、10世紀初頭

貞観津波は一〇〇〇年に一度か?

- ◆ 1454年(享徳三)11月23日 陸奥国津波
- ◆ 夜半二天地震動、奥州二津波入テ、山ノ奥百里入テ、カヘリ人多取ル(『王代記』山梨県史資料編六)
- ◆ 約一月後(朝鮮王朝、端宗王二年十二月甲辰)に、朝鮮の南部、慶尚道・全羅道などで大地震。多数の圧死者(『朝鮮王朝実録』)。

まとめにかえて一歴史の不変性

歴史家として考えること

- ◆ (イ)東アジアの噴火・地震
 - ◆ (ロ)歴史常識の見直し、科学化
 - ◆ (ハ)文理融合——大学がやってきたことの点検
 - ◆ (ニ)真の神話と「安全神話」——無縁・無力と叡智
- 人間の無力の存在としての放射線

【第2部】

都市の水管理システムから見た震災

福士謙介（サステイナビリティ学連携研究機構）

上水道施設の被害

- 地震による被害
 - 多くの浄水場は自家発電施設で運転継続
 - 配水管は被害を受けた
- 復旧
 - 配水管の復旧は非常時の協定に基づき全国より集まった技術者が修復(仙台市の場合18日間で修復完了)

水道管は地下構造物であり、今回の地震では被害があまり大きくなかった。これは他の構造物にも当てはまる。

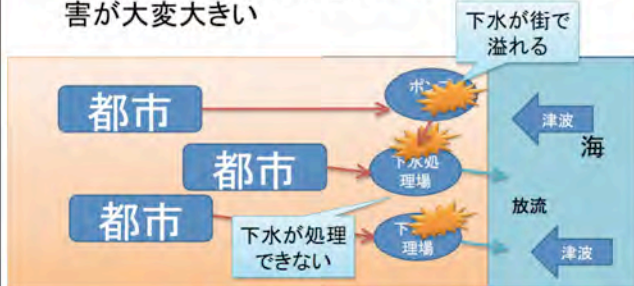
緊急時の配水

- 給水車
 - 浄水場から各家庭・避難所へ飲料水を供給
 - 東北では湧水が起これないため、西日本から応援が駆けつける



下水道:被害状況とその対応

- 我が国の下水処理施設の多くは沿岸域に位置しており、今回の地震に伴う津波による被害が大変大きい



被災状況



仙台市建設局提供

被害例2:南蒲生浄化センター概要と被害状況

- 仙台市の約7割の下水を処理する大規模下水処理場
- 仙台市の被害が比較的小さく、水道が短期間で復旧したため、通常と変わらない量の下水処理が必要
- 津波による被害
 - 設備類の浸水と破壊、地盤沈下によるコンクリートタンク類の不均衡沈下
 - 現在、簡易処理(沈殿+塩素消毒)したものを海へ放流している。
 - 今後、ガスの復旧に伴い排水量が増える(風呂)等、早期に段階的に水量が増す

下水道(まとめ)

- 沿岸域に位置する下水道は津波に被害を受ける
- 今回波の津波が来た場合は下水処理場を無傷で残すことは不可能
- 下水処理場の位置を移動することは現実的に考えて難しい
- ある程度の分散化は可能
- 被災後、迅速に簡易処理に移るプロセスが必要
- 山側に下水処理場がある都市の検証が必要(例:鎌倉市)

【問い合わせ先】

海洋アライアンス事務局

野村英明（大気海洋研究所）

〒277-8564 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

TEL/FAX. 04-7136-6417

E-mail: office@oa.u-tokyo.ac.jp

