

津波・高潮による沿岸災害 発生・伝播・増幅メカニズムと防災対策

内山 雄介

神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻

シンポジウム：神戸における自然災害の防止・減災を目指して（2016年1月21日）

本日のトピックス

1. 津波・高潮の科学
2. 高潮災害(主に大阪湾沿岸)
3. 津波災害(主に東北地方太平洋沖)
4. 津波による被害と対策
5. 津波防災・減災に向けて

津波・高潮の科学

津波とは？

主に地震，火山活動，地滑りなどによる海底地形の急変が引き金となって，圧力を通じて海面が隆起し，それが自由長波として海洋を伝播する現象。

この自由長波は同心円状に広がり，そのうち主に海岸に到達したものが災害を生む。

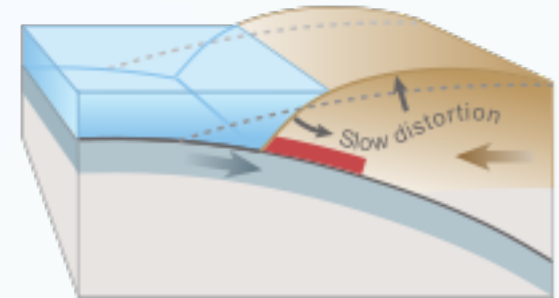
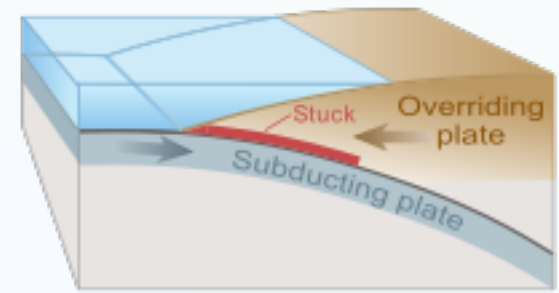
津波の波長は数10km～数100kmであり，その速度（波速 c , m/s）は，水深を h (m), 重力加速度を g (m/s²)として

$$c = \sqrt{gh}$$

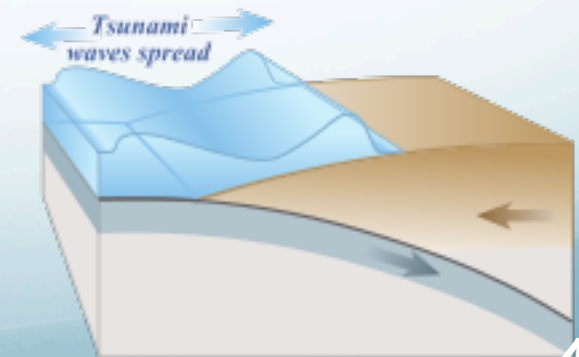
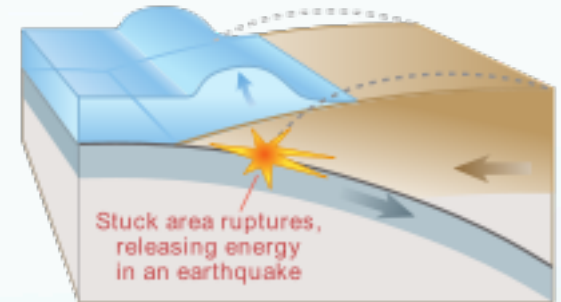
で表される．沖合（ $h = 5000$ m）では c は毎時約800km程度．津波の周期 T (s)は，

$$T = L/c$$

から，数分から数10分のオーダーである．



Tsunami starts during earthquake



津波が海岸に近づくとき？

波のエネルギー保存則は、波のエネルギーを E ($=\rho g H^2/8$, H : 波高), 群速度を c_g (長波の場合, $c_g=c$)とすると

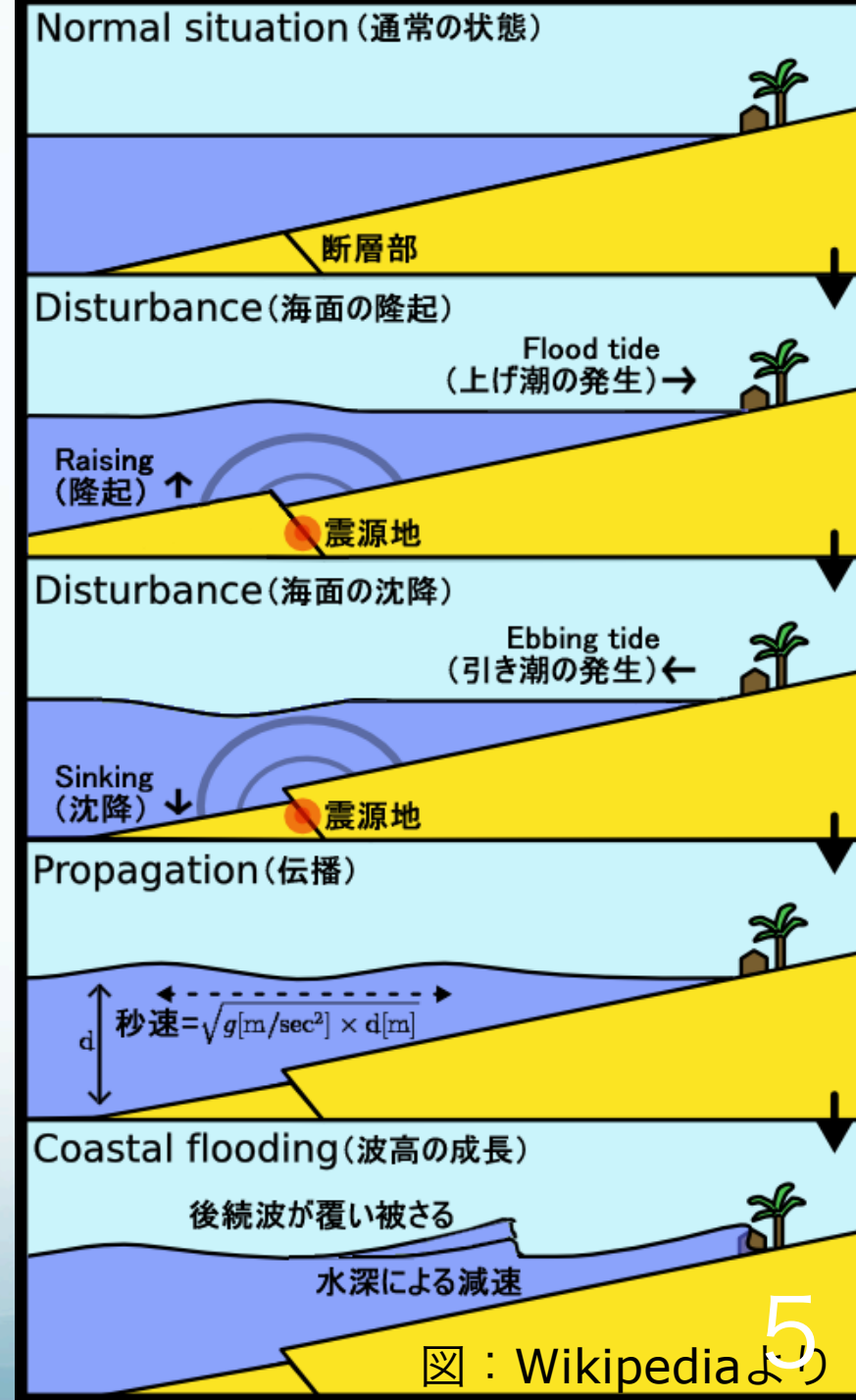
$$\nabla(E c_g) = \text{const.}$$

沖合での波高 H と水深 h を H_o, h_o , 海岸近くで H_b, h_b として代入・整理すると,

$$\frac{H_b}{H_o} = \left(\frac{h_b}{h_o}\right)^{-1/4}$$

を得る。この式から、**水深が半分になるときに津波の波高 H は約20%ずつ増加**することが分かる。

湾や河口など沖から岸に向かって幅が狭くなる地形でも増幅され、**幅が半分になるときに波高は約40%ずつ増加**する。



高潮とは？

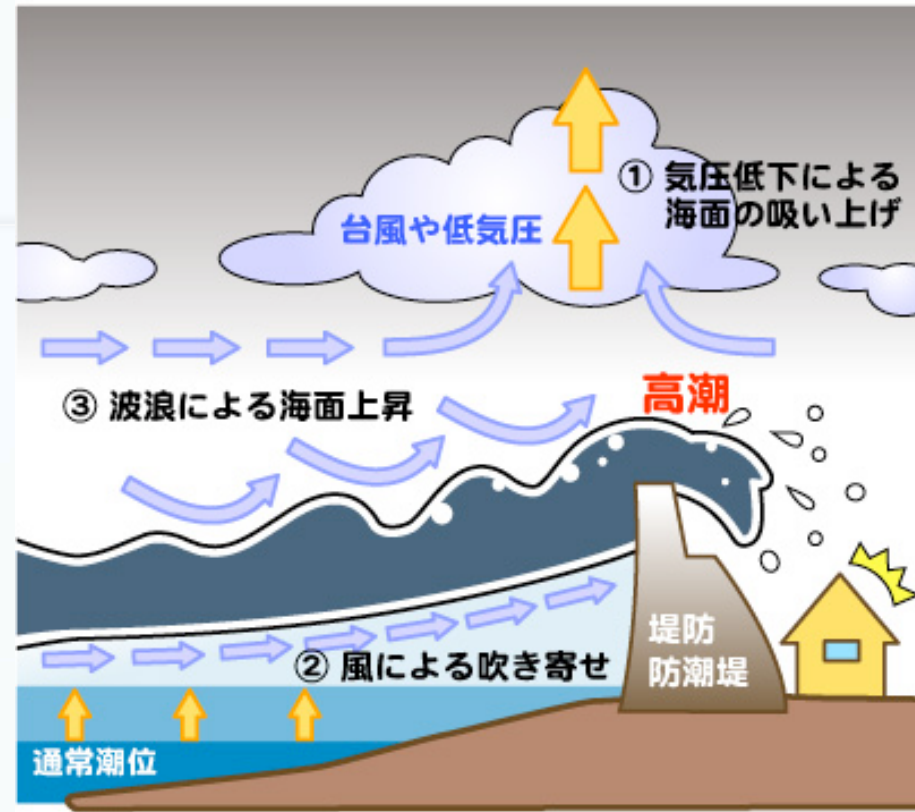
主に台風などの低気圧による海面の吸い上げに伴う水位上昇と、向岸風による海水の吹き寄せによって海水位が著しく高まる現象。満潮と重なると特に被害が大きくなる。

高潮も長波であり、その波長は台風の暴風半径（100 km程度）に規定される。したがってその周期

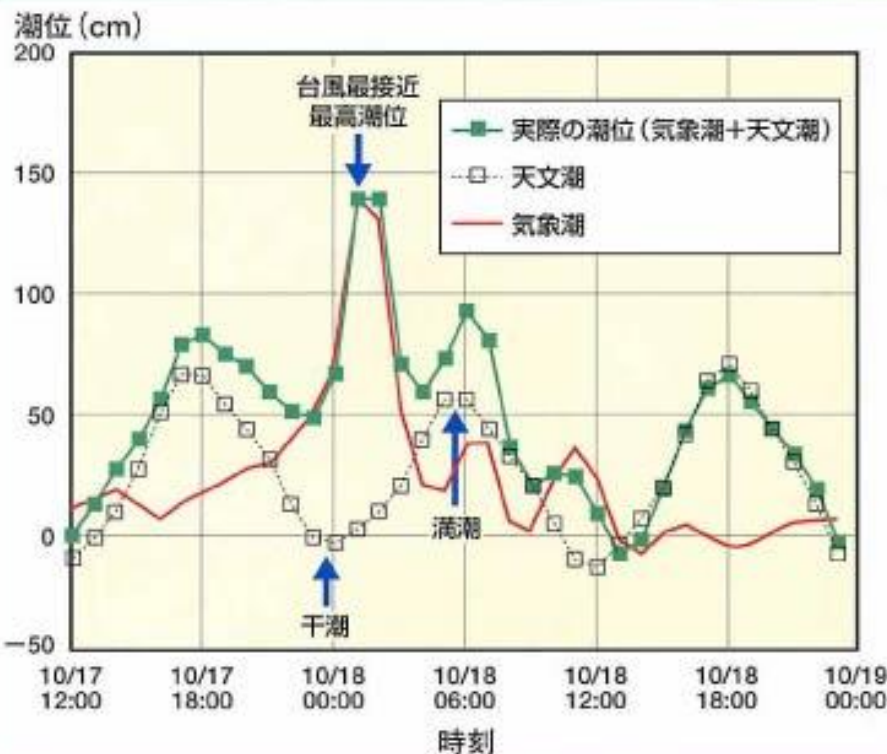
$$T = L/c = L/\sqrt{gh}$$

は津波とほぼ同程度である。ただし、台風とともに移動する強制波としての性質が強く、自由波は前駆波として遠方まで伝播し得る。

沿岸域では波浪（風波）の影響でさらに平均海面が上昇することがある。



図：気象庁HPより



1998年台風第10号が通過した時の大阪での潮位の変化。この例では、干潮の直後の10月18日1時ごろに台風が最接近して潮位が最も高くなりました。

吸い上げ: inverse barometer

$$\Delta\eta = \Delta P / \rho g$$

1 hPaあたり約1cm

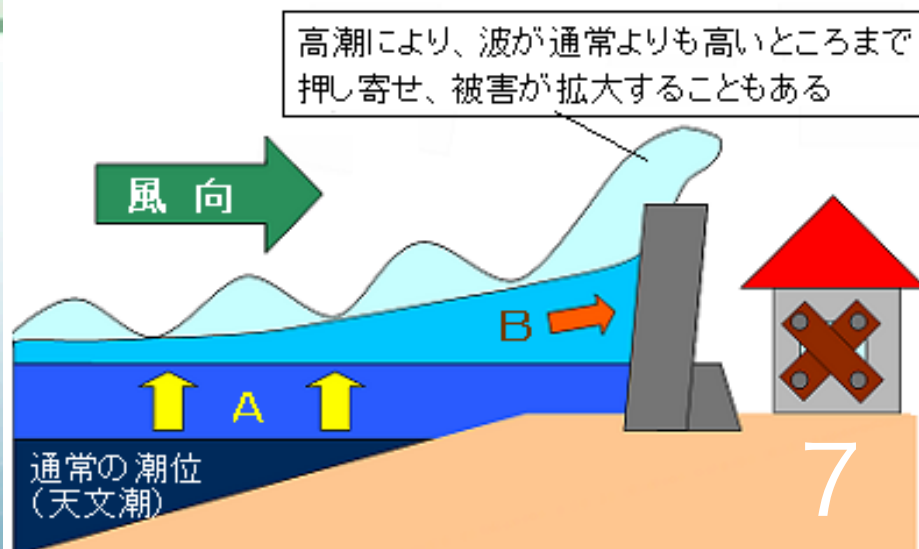
台風や低気圧



吹き寄せ: wind set-up

$$\Delta\eta = L\tau_s / \rho g h$$

図：気象庁HPより



その他に考慮しなければならない物理機構

- セイシュ
- エッジ波
- プラウドマン共鳴

高潮災害

記録に残る台風・高潮災害

台風	時期	最低気圧	最大風速	高潮 偏差	死者	全壊家屋
室戸台風	1934年9月	911.6 hPa	60 m/s	4.5 m	2,702 人	不明
ジェーン台風	1950年9月	940 hPa	50 m/s	2.1 m	398 人	19,131
第2室戸台風	1961年9月	888 hPa	75 m/s	4.12 m	194 人	15,238
伊勢湾台風	1959年9月	895 hPa	75 m/s	3.45 m	4,697 人	36,135
枕崎台風	1945年9月	910 hPa	51 m/s	不明	2,473 人	不明
Haiyan (比)	2013年11 月	896 hPa	65 m/s	6-7 m	6,201 人	114万戸
Katrina (米)	2005年8月	902 hPa	72 m/s	3.53 m	1,836 人	16万戸

大阪を襲った三大台風

室戸台風

昭和9年

↓ (16年)

ジェーン台風

昭和25年

↓ (11年)

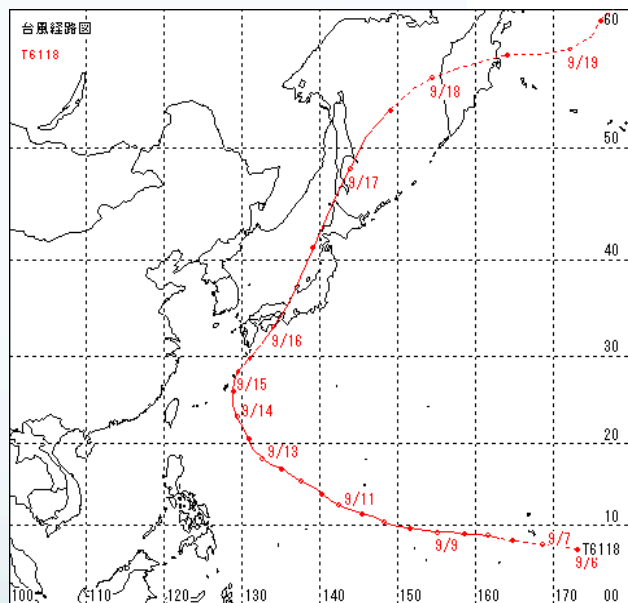
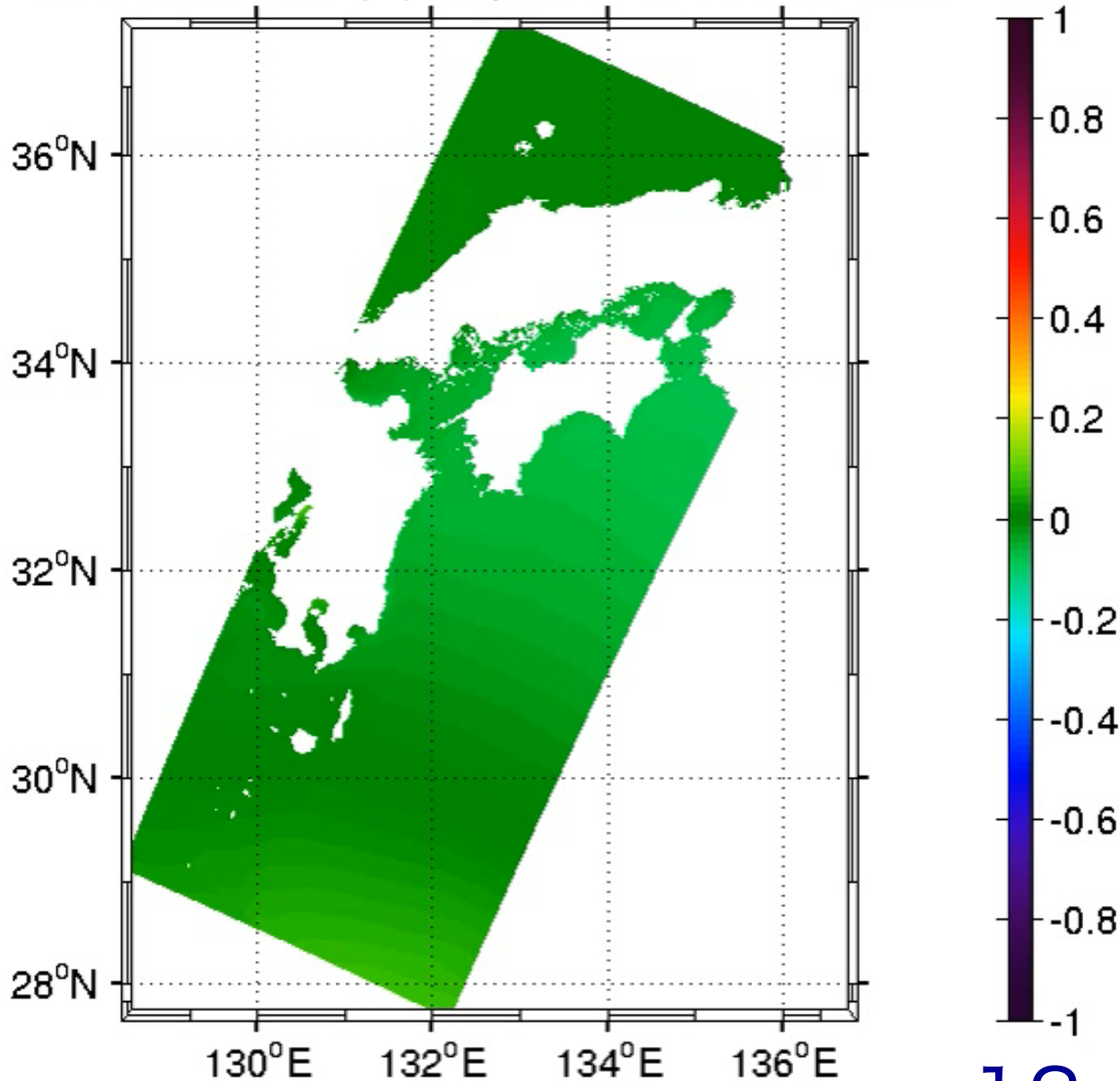
第2室戸台風

昭和36年



第2室戸台風 (1961年9月) に よる高潮偏差 (m)

surface elevation (m) elapsed time: 218h-00m-00s



台風経路

古田 隆則君
(神戸大) 提供

(一) 第九一五号 大坂朝日新聞 昭和二十二年九月九日 (日本郵政省登記第三七〇号 郵便物扱い) (刊日) 日

朝日新聞

近畿六府縣の慘禍

死傷七千を突破

大阪府の死者七百餘名

一報毎に慘害加はる

大阪府

大阪府 大鰯風の標幟は調査の此むにつれ、ますます甚大となり、大阪府署に調査本部に二十一日午附、同までに運じた死傷者は實に四十二名を數へ、被害情狀立の如し。

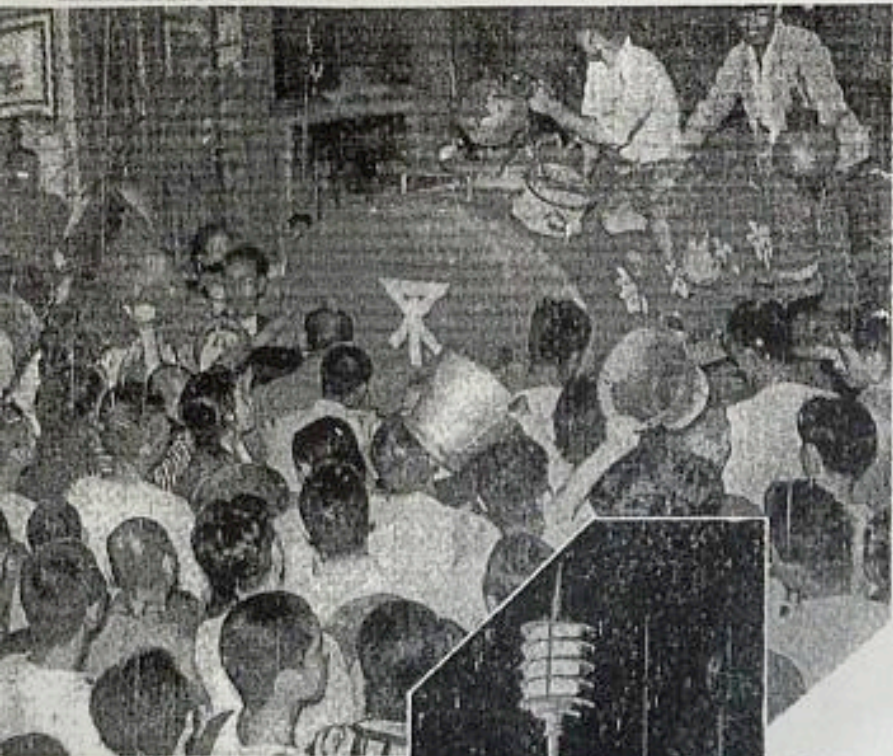
[illegible]

京都府

京都府 如左 京都府知事 堀部保家談調查 于十一日午後十時現在府下の被害概況左の如し

南都 死者百八十一名、重傷者百四十一名、輕傷者五百四十九名、建物全壞于三百四十五、内小學校十四校、中等學校四校、同中學 三千四百一十一、(内小學校十一校、中等學校九校、都廳 死者四十二名、重傷者一十一名、輕傷者二百二十名、建物全壞三百十五、(小學校十二校、中學校十六、小學校一校)、合計死者一百五十七名、重傷者百六十一名、輕傷者七百四十九名、全損建物三千五百七十七、(小學校四、中等學校三、都廳一、輕傷者百六十一、

西都 死者三十一名、重傷者三十一名、輕傷者一百一十一名、建物全壞于三百四十五、(小學校十一校、中等學校九校、都廳 死者四十二名、重傷者一十一名、輕傷者二百二十名、建物全壞三百十五、(小學校十二校、中學校十六、小學校一校)、合計死者一百五十七名、重傷者百六十一名、輕傷者七百四十九名、全損建物三千五百七十七、(小學校四、中等學校三、都廳一、輕傷者百六十一、



復興！警備

難して勢散する軍陣（福澤）
（二四）

兵庫縣

縣志

死者百五十三名、負傷者九百八十名、擱損二隻、橋梁燒失八七、山嶺汽船四、帆船二、六、進

岡山縣

平明十一月
大正二年

廣東縣志卷之二十一
風俗志
廣東縣志卷之二十一
風俗志

廣島縣

死後二名
行方不明二

西島縣第三十五萬

一、兵庫縣

死者百五十三名、負傷
流矢九百八十、倒旗二
〇、橋樑流失八七、山
汽船四、帆船二六、漁

崇良縣

其價二十

岐阜縣

合利便

一、五十五、八十三

7

和歌山縣

卷二

THE

世濟堂

三、**▲** 三、**▲**

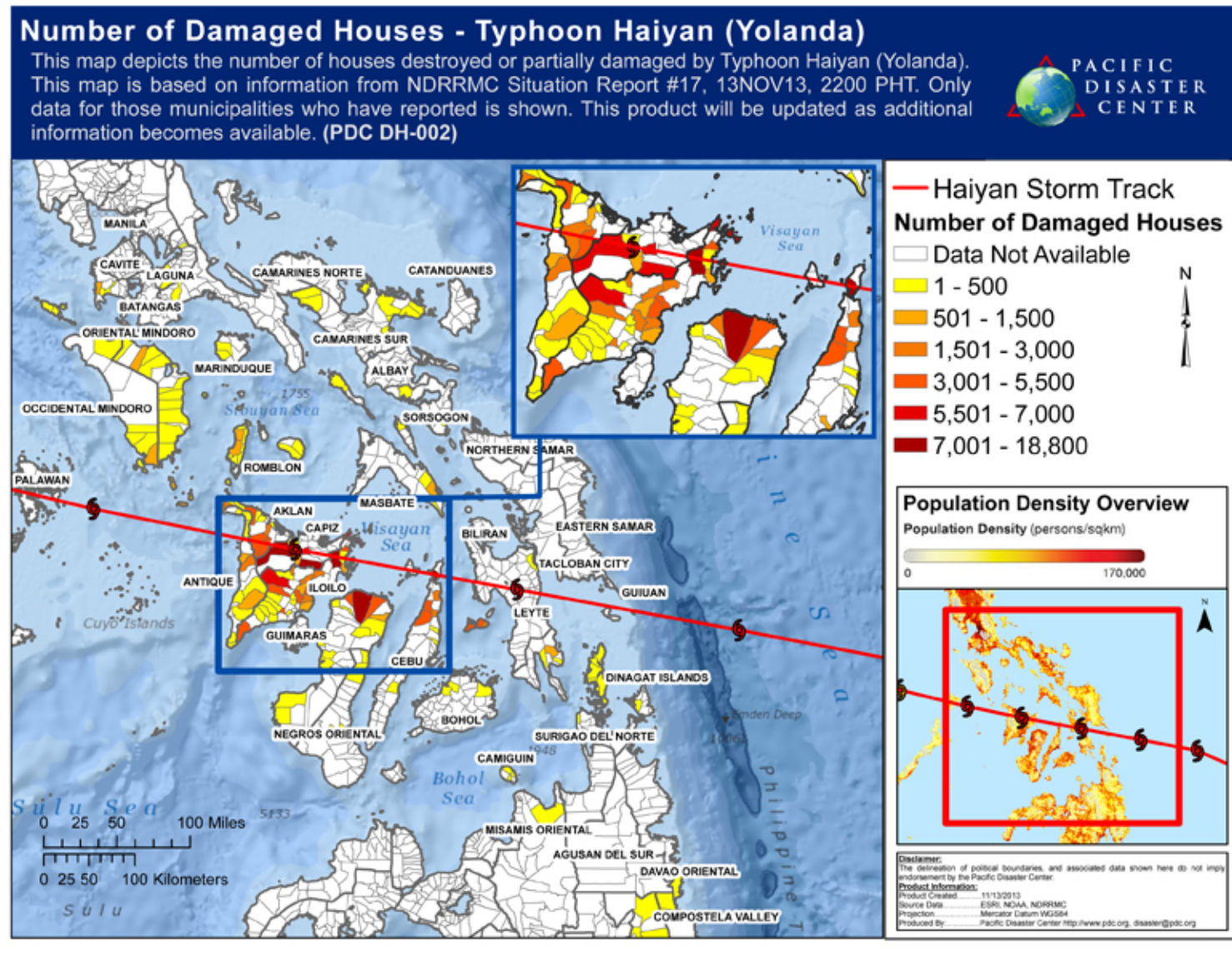
三、五、七

室戸台風の被害



1934年9月25日。室戸台風で倒壊した花園尋常小学校。(山本六彦氏所蔵)

Haiyan (H25年30号) による高潮・台風被害



Typhoon Haiyan attacked the Philippines on Nov. 13, 2013, causing inundation to sweep many houses.

Pacific Disaster Center (2013)

896 hPa, Max 175 kt, 6,200 casualties

津波災害

(主に2011年東北地方太平洋沖地震)

スライド割愛

安全レベルの合意と地域計画

災害の経験・教訓を伝える
(記憶の継承)