

# 災害から暮らしを守る

－防災・減災のための土木技術－

社会基盤学コース3

環境フィールド工学専攻

教授 泉 典洋

<http://earth-fe.eng.hokudai.ac.jp/>

## 自然災害のいろいろ

- 地震: 関東大震災(1923), 阪神大震災(1995)  
十勝沖地震(2003), スマトラ沖地震(2004)  
四川大地震(2008), 東日本大震災(2011)
- 台風: 10台風上陸(2004),  
ハリケーンカトリーナ(2005)  
サイクロンナルギス(2008)
- 豪雨: 平成21年7月中国・九州北部豪雨  
宮崎水害(2005年), 平成16年7月福井豪雨  
平成16年7月新潟・福島豪雨
- 火山: 有珠山噴火(2000)など

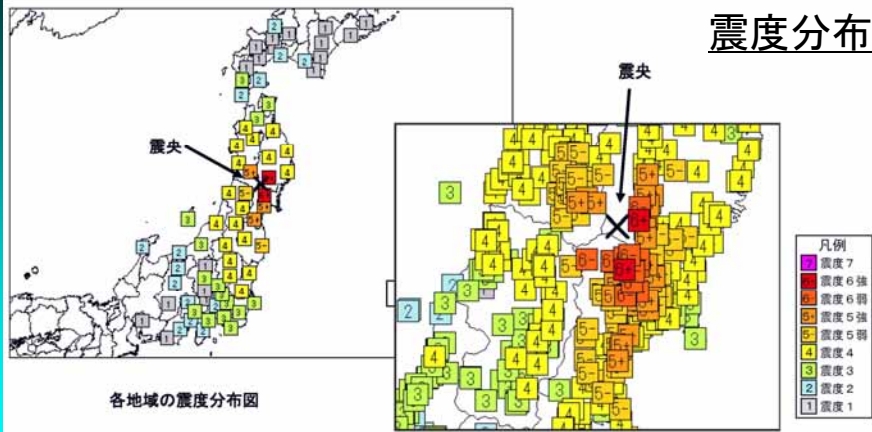
## 本日のメニュー

- 地震災害
  - ◆ 地すべり
  - ◆ 液状化
  - ◆ 長周期動
  - ◆ 津波
- 水害
  - ◆ 豪雨
  - ◆ 熱帯低気圧
  - ◆ 斜面崩壊, 地すべり
  - ◆ 治水

地震災害

## 岩手・宮城内陸地震

2008年6月14日(土)8時43分頃発生。岩手県内陸南部を震源(深さ8km, M7.2)



- 岩手県奥州市と宮城県栗原市で震度6強を、断層直上のIWTH25(一関西)では、上下動:3866 gal(最大隆起量163cm)を記録した。
- 西側の地盤が東側に乗り上げる「逆断層型の地殻内地震」である。

## 岩手・宮城内陸地震

土砂の流入

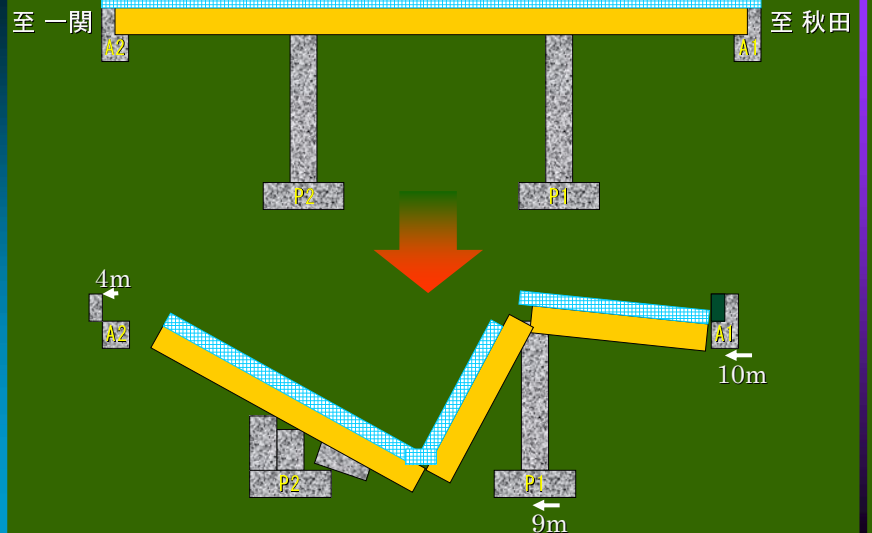
荒砥沢ダム

巨大地すべり  
推定移動土砂量  
4,500万 $m^3$

貯水池への流入  
推定量360万 $m^3$

ダム貯水  
洪水調節量  
350万 $m^3$

## 被災概要図



## 橋台斜面が岩盤崩壊(地すべり)

祭時(まつるべ)大橋: 国道342号  
鬼越沢(おにこしさわ)に架かる、  
三径間連続非合成钣桁橋



地すべりにより橋台が10m変位し、落橋した。  
国道を横断する橋は、ほとんど変状していない。

## 地盤が液体に変わる—液状化現象 新潟地震(1964年6月16日)

新潟市内をM7.5の地震が襲った。

空港の滑走路や運動場、鉄道盛土、土木・建築構造物の周辺などにおいて、大量の砂が地下数mの深さから噴出し、人々を驚かせた。これは地下水を含んだ砂地盤が地震動を受けて液体状になる現象(地盤が液体に変わる)で、**地盤の液状化**と呼ばれている。これと同時に、建物が傾斜したり、橋が落ちたり、下水管が地上に飛び出すというような被害が続出した。

## 地盤沈下と地盤の液状化現象(新潟地震)

←崩落した昭和大橋



木の下橋の地割に落ちた車→



←液状化によって沈む  
新潟空港ビル



釧路町新東陽団地のマンホール  
の浮上

釧路市 千代ノ浦漁港  
陥没



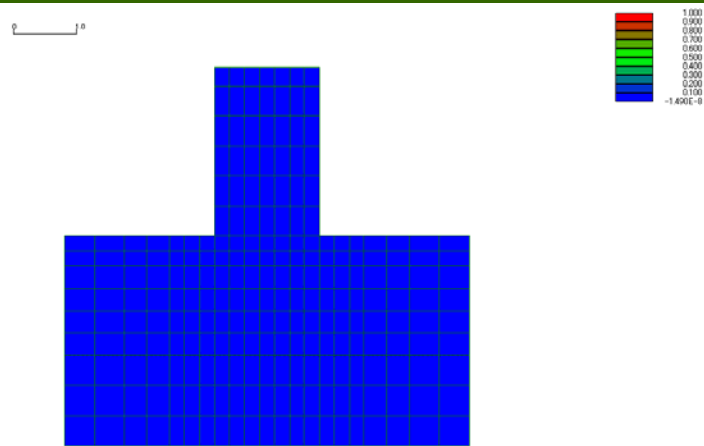
## 実物大の空港施設を用いた液状化実験





# 液状化の予測・解明

土の液状化モデルを用いた応答解析(有効応力解析)



図の色は過剰間隙水圧比のコンターを表している。赤色は過剰間隙水圧比=1.0となり液状化を生じた領域、青色は過剰間隙水圧比が上昇していない領域を表す。

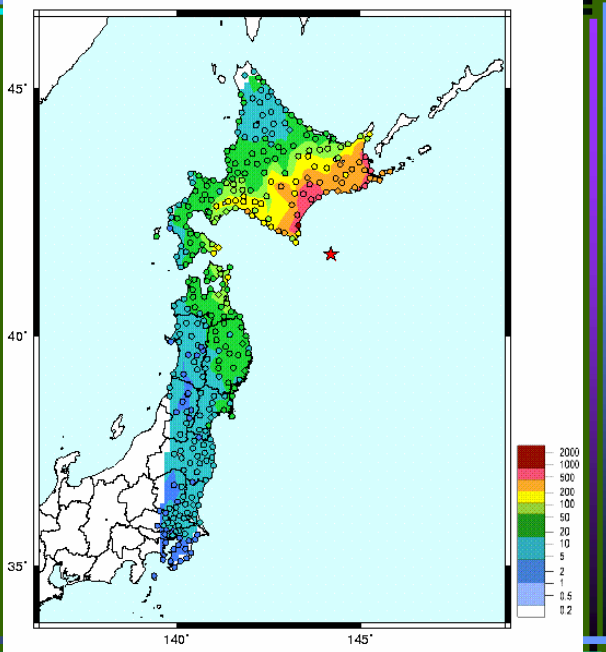
Grid: STEP = 1  
Maximum: 0.016 Minimum: 0.000

**十勝沖地震**  
2003年9月26日(金)  
4時50分頃発生  
襟裳岬南東沖を震源  
(深さ42km, M8.0)

南東側の地盤が北西側に  
乗り上げる「逆断層  
タイプ」

北海道新冠町、静内町、  
浦河町等で震度6弱  
広尾観測点で**973ガル**  
(東西方向)  
広尾で東南東に最大  
97cm移動

地表最大加速度  
分布→



# 出光興産タンク火災

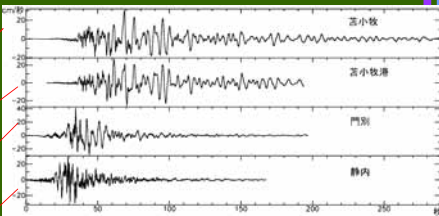
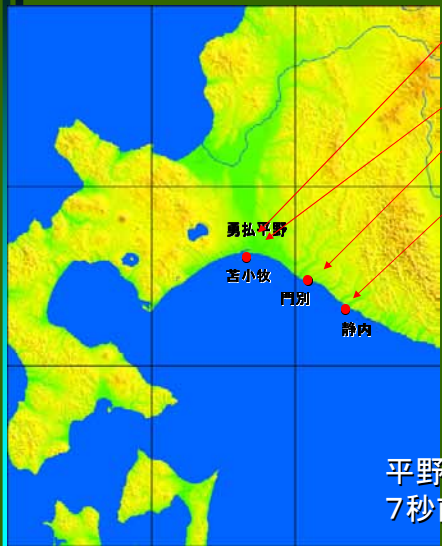


苫小牧で精油所の  
火災

# 震源と被災箇所的位置関係



# 地盤によって地震の揺れ方も違う

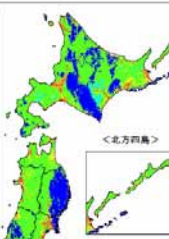


- 同じ地震でも、また震源からの距離も同じなのに、地盤の揺れ方は違う。
- 軟弱地盤では、一般に周期が長く、また継続時間も長くなる。

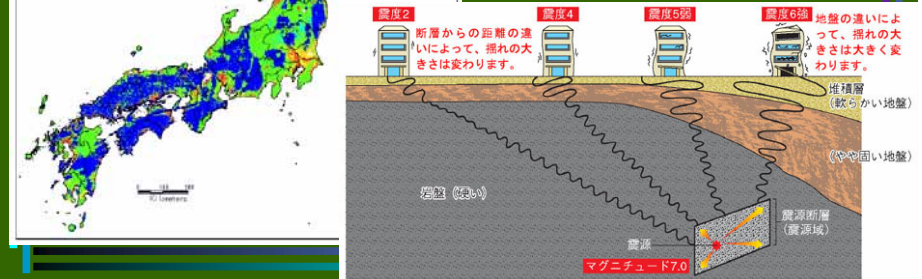
平野の地下にある堆積層のため周期7秒前後の地震動が増幅した。  
長周期動と構造物の固有周期の共振

# 中央防災会議 H17.10.19 「表層地盤のゆれやすさ全国マップ」

計測震度増分	色	ゆれやすさ
1.0 ~ 1.65	赤	ゆれやすい
0.8 ~ 1.0	オレンジ	
0.6 ~ 0.8	黄	
0.4 ~ 0.6	緑	
0.2 ~ 0.4	青	
0.0 ~ 0.2	水色	
-0.95 ~ 0.0	青	ゆれにくい

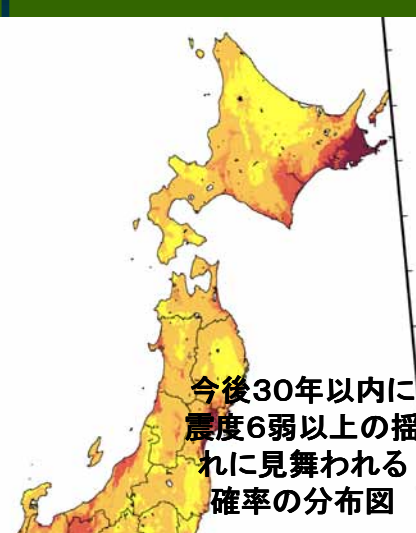


左図は、各地の平均よりもやわらかい地盤に対して、地表でのゆれが深部でのゆれに対して大きくなる割合(計測震度増分)を示したもの



# 「全国を概観した地震動予測地図」2010年版

地震調査研究推進本部 地震調査委員会



今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布図



北日本地域の主要活断層帯の位置と海溝型地震の領域

# スマトラ沖地震津波





東日本大津波 陸前高田市



東日本大津波 仙台空港



## 日本の大津波

- 明治三陸津波(明治29年)  
M8.2-8.5 ゆっくり動く地震, ほとんど無感  
最大波高 38.2 m, 死者約2万2千人
- 昭和三陸津波(昭和8年)  
M8.1 地震自体による被害は小  
最大波高 28.7 m, 死者不明者3000人超
- チリ津波(1965年)  
M8.5 チリで発生した地震  
最大波高 6 m, 死者142名



昭和三陸津波発生前の田老町





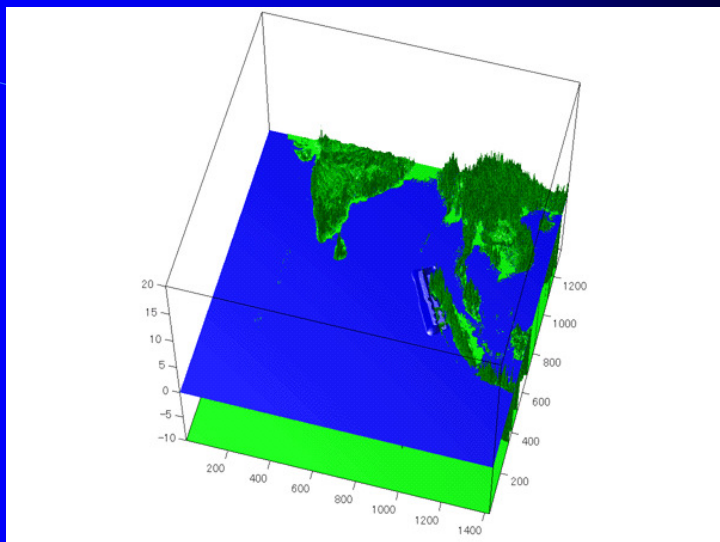
# 昭和三陸津波発生後の田老町



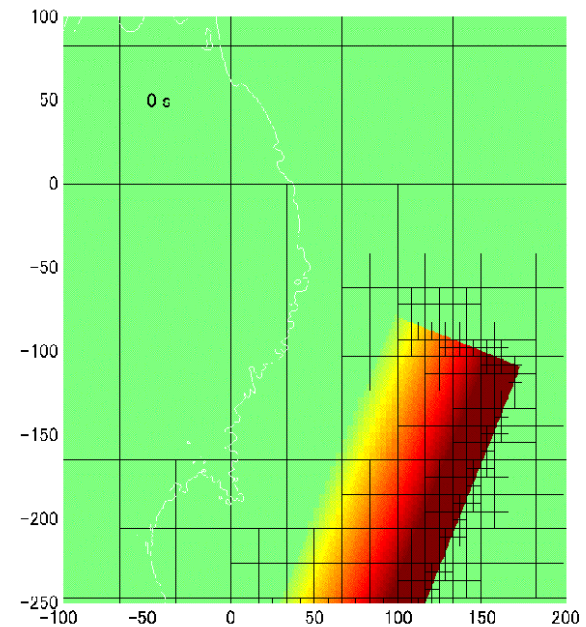
# 田老の防潮堤



# 津波の数値シミュレーション

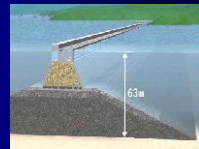


スマトラ沖地震津波波浪計算 北海道大学工学研究科沿岸海洋工学研究室



東日本大震災津波波浪計算 北海道大学工学研究科沿岸海洋工学研究室

## 津波防波堤, 湾口防波堤



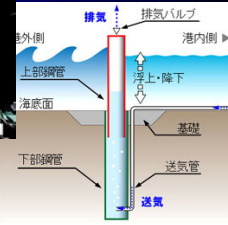
岩手県釜石港の津波防波堤



高知県須崎港の津波防波堤



和歌山下津港の津波防波堤



## 水害

## 歴史に残る水害(世界)

- 紀元前3000年頃 ノアの箱舟洪水
- 1824年 ロシア、ネヴァ川の氾濫によりサンクトペテルブルク等で死者1万人
- 1887年 中国、河南省で黄河の氾濫、死者90万人(600万人との説も)
- 1913年 ハンガリー・ドナウ川
- 1939年 中国北部、死者50万人
- 1951年 中国東北部、死者4800人
- 1953年 オランダ・高潮、死者6000人
- 1955年 インドと東パキスタン(現バングラデシュ)、ガンジス川河口で洪水、死者2000人
- 1963年 イタリア、バイオントダムに地すべり流入で水があふれて洪水、死者2000人(4000人?)
- 1969年 中国、山東省で洪水、死者数十万人?
- 1970年 バングラデシュ、ポーラ・サイクロン、死者30万~50万人
- 1997年 ドイツ・ポーランド国境のオーデル川洪水、死者108人
- 2005年 アメリカ、ニューオリンズ、ハリケーンカトリーナ被害、死者約3000人

## 歴史に残る水害(日本)

- 1885年 大阪・淀川大洪水
- 1910年 関東大水害:死者・行方不明者900人を超える
- 1934年 室戸台風:大阪湾に高潮、死者・行方不明者3066人(昭和の三大台風)
- 1938年 阪神大水害:死者500人を超える
- 1945年 枕崎台風:広島県中心に死者・行方不明者3756人(昭和の三大台風)
- 1947年 カスリーン台風:利根川氾濫、死者・行方不明者1930人
- 1948年 アイオン台風:死者・行方不明者838人
- 1953年 北九州・熊本大水害:死者・行方不明者1013人
- 1953年 南紀豪雨:死者・行方不明者1124人
- 1953年 8月、南山城(京都)水害:死者・行方不明者429人
- 1953年 9月、台風13号:死者・行方不明者478人
- 1957年 諫早豪雨:死者・行方不明者992人
- 1958年 狩野川台風:伊豆半島と東京付近に水害、死者・行方不明者1189人
- 1959年 伊勢湾台風:伊勢湾に高潮、死者・行方不明者5098人(昭和の三大台風)
- 1974年 多摩川水害:池江市の堤防決壊で19戸が流出
- 1982年 長崎豪雨:死者・行方不明者323人
- 1993年 平成5年8月豪雨(鹿児島):死者・行方不明者48人
- 2000年 東海豪雨:死者10人
- 2004年 平成16年7月新潟・福島豪雨:死者16人
- 2004年 平成16年7月福井豪雨:死者・行方不明者5人
- 2006年 平成18年7月豪雨(九州~中部):死者25人



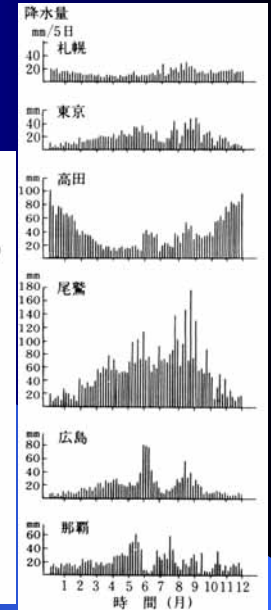
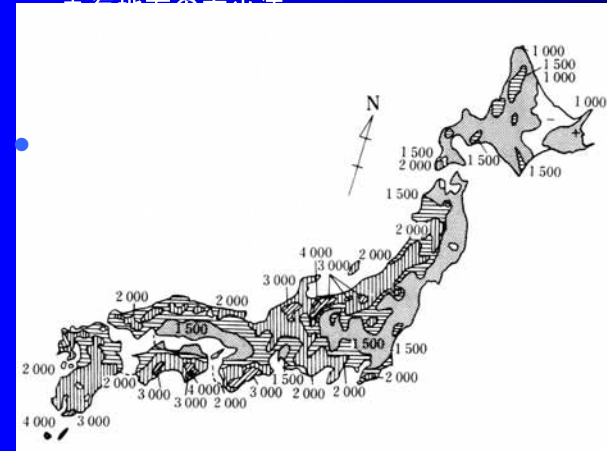
# 世界の降水量

- 日本の降水量は世界的に多いグループに属する
- 国土が狭いため総量はあまり多くない
- 人口密度が大きいため一人当たりの降水量は少ない

	年降水量 (mm/年)	面積 (千km <sup>2</sup> )	降水総量 (億 m <sup>3</sup> /年)	人口 (万人)	人口1人当 り降水量 (m <sup>3</sup> /年・人)
アメリカ合衆国	760	9 373	71 235	24 160	29 485
イギリス	1 064	244	2 596	5 615	4 624
イタリア	1 000	301	3 010	5 722	5 260
イラン	250	1 648	4 120	4 591	8 974
インド	1 170	3 288	38 470	76 614	5 021
インドネシア	2 620	1 905	49 911	16 694	29 898
エジプト	65	1 001	651	4 961	1 312
オーストラリア	460	7 687	35 360	1 597	221 416
オーストリア	1 191	84	1 000	757	13 216
カナダ	522	9 976	52 075	2 561	203 337
クウェート	120	18	22	179	1 207
サウジアラビア	100	2 150	2 150	1 201	17 902
スイス	1 470	41	603	650	9 272
スウェーデン	700	441	3 087	837	36 882
スペイン	600	505	3 030	3 867	7 836
田ノ浦	502	22 402	112 458	28 014	40 144
タイ	1 420	513	7 285	5 209	13 985
中国	660	9 597	63 340	107 222	5 907
ドイツ	803	249	1 999	6 105	3 275
日本	1 749	378	6 607	12 106	5 458
ニュージーランド	2 010	269	5 407	325	166 366
フィリピン	2 360	300	7 080	5 558	12 738
フランス	750	552	4 140	5 539	7 474
ユーゴスラビア	975	256	2 496	2 327	10 726
ルーマニア	700	238	1 666	2 317	7 190
世界計・平均	973	135 793	1 321 266	491 700	26 871

# 日本の降水量

- 多雨地域  
九州、四国、紀伊半島  
東海地方から太平洋



# 世界の降水量の極値

● 1分間	38mm	フランス海外領 グアドループ島	1970年11月26日
● 8分間	126mm	ドイツ フェッセン	1920年5月25日
● 15分間	198mm	ジャマイカ プラムポイント	1916年5月12日
● 20分間	206mm	ルーマニア クルテヤデアルジェシ	1889年7月7日
● 42分間	305mm	アメリカ合衆国 ホルト	1947年6月22日
● 2時間10分	483mm	アメリカ合衆国 ロックポート	1889年7月18日
● 2時間45分	559mm	アメリカ合衆国 D'Hanis	1935年5月31日
● 4時間30分	782mm	アメリカ合衆国 スメスポーツ	1942年7月18日
● 9時間	1,087mm	フランス海外領 レユニオン島 ペローブ	1964年2月28日
● 12時間	1,340mm	フランス海外領 レユニオン島 ペローブ	1964年2月28日-29日
● 18時間30分	1,689mm	フランス海外領 レユニオン島 ペローブ	1964年2月28日-29日
● 24時間	1,870mm	フランス海外領 レユニオン島 シラオス	1952年3月15日-16日
● 月	9,299mm	インド メーガーラヤ州 チェラプンジ	1861年7月
● 年最多	26,461mm	インド メーガーラヤ州 チェラプンジ	1860年8月-1861年7月
● 年平均最多	10,449mm	インド メーガーラヤ州 チェラプンジ	1971年-2000年
	11,770mm	コロンビア ツツンエンド	不明
● 年最少	0mm	チリアントファガスタ州 アタカマ砂漠	不明
● 年平均最少	0.5mm	エジプト アスワン	1951年-1978年

# 日本の降水量の極値

## 1時間降水量の記録

順位	降水量	観測地点	起日
1位	153mm	千葉県 香取市 (アメダス)	1999年10月27日
		長崎県 長崎市 長浦岳 (アメダス)	1982年7月23日
3位	152mm	沖縄県 多良間村 (アメダス)	1988年4月28日
4位	150.0mm	高知県 土佐清水市 (気象官署)	1944年10月17日
5位	149.0mm	高知県 室戸市 室戸岬 (気象官署)	2006年11月26日

## 日降水量の記録

順位	降水量	観測地点	起日
1位	851.5mm	高知県 安芸郡 魚梁瀬 (アメダス)	2011年7月19日
2位	844mm	奈良県 上北山村 日出岳 (アメダス)	1982年8月1日
3位	806.0mm	三重県 尾鷲市 (気象官署)	1968年9月26日
4位	790mm	香川県 小豆島町 内海 (アメダス)	1976年9月11日
5位	764mm	三重県 多気郡 宮川 (アメダス)	2011年7月19日
6位	757mm	愛媛県 西条市 成就社 (アメダス)	2005年9月6日
7位	735mm	高知県 香美市 繁藤 (アメダス)	1998年9月24日

# 日本の降水量の極値

## 月降水量の記録

最多(気象官署)	1883.0mm	三重県尾鷲市	1968年9月
最多(アメダス)	2299mm	宮崎県えびの市	1993年7月
	2452mm	三重県宮川	2011年9月
	2421mm	和歌山県上北山	2011年9月
管内観測所	3514mm	奈良県大台ヶ原山	1938年8月

## 年降水量の記録

最多(気象官署)	6294.5mm	鹿児島県屋久島	1999年
最多(アメダス)	8670mm	宮崎県えびの市	1993年
最少(気象官署)	535.0mm	北海道紋別市	1984年
最少(アメダス)	348mm	北海道本別町	1984年

# 熱帯低気圧

熱帯から亜熱帯の海洋上で発生する低気圧

**台風** 東経100度から東経180度までの北半球に存在する、ある程度強い熱帯低気圧

**ハリケーン** 西経180度から大西洋までの北半球に存在する、非常に強い熱帯低気圧

**サイクロン** 東経100度以西のインド洋とその周辺の北半球および南半球全域に存在する、ある程度強い熱帯低気圧

# ハリケーンと台風の規模の比較

Labor Dayハリケーン  
上陸日: 1935年9月2日  
上陸地点: フロリダ  
最大風速: 72m/s  
最低気圧: 892hPa  
(上陸時892hPa)

ハリケーンカミーユ  
上陸日: 1969年8月17日  
上陸地点: ニューオリンズ付近  
最大風速: 84m/s  
最低気圧: 901-905hPa  
(上陸時909hPa)

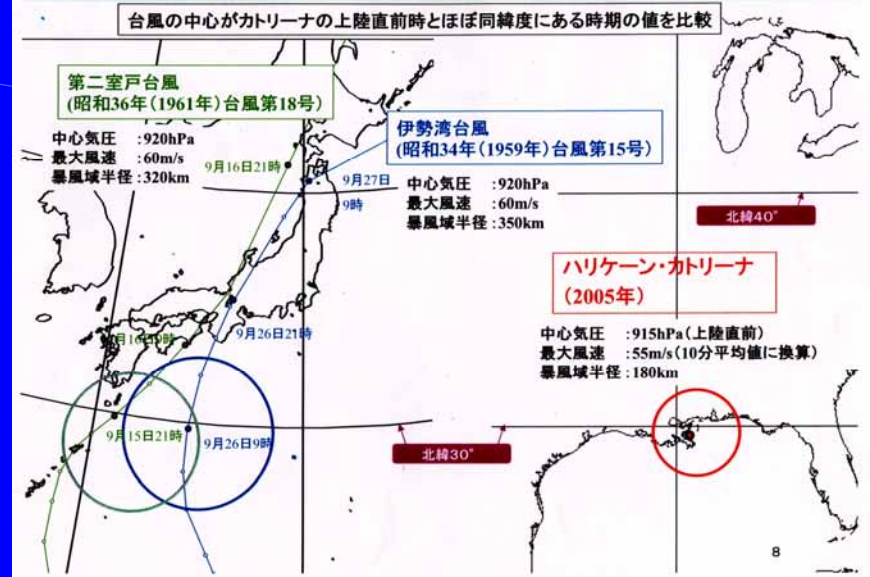
ハリケーンカトリーナ  
上陸日: 2005年8月29日  
上陸地点: ニューオリンズ付近  
最大風速: 79m/s  
最低気圧: 902hPa  
(上陸時920hPa)

室戸台風  
上陸日: 1934年9月21日  
上陸地点: 高知県室戸岬  
最大風速: 不明  
最低気圧: 不明  
(上陸時911.6hPa)

第2室戸台風  
上陸日: 1961年9月16日  
上陸地点: 高知県室戸岬  
最大風速: 94m/s (米海軍解析)  
最低気圧: 888hPa  
(上陸時925hPa)

伊勢湾台風  
上陸日: 1959年9月26日  
上陸地点: 和歌山県潮岬  
最大風速: 90m/s (米海軍解析)  
最低気圧: 894hPa (米海軍観測)  
(上陸時929hPa)

# ハリケーン・カトリーナと主な台風との暴風域の大きさの比較







ハリケーンカトリーナ: 破堤箇所と浸水域



17番通り運河破堤状況



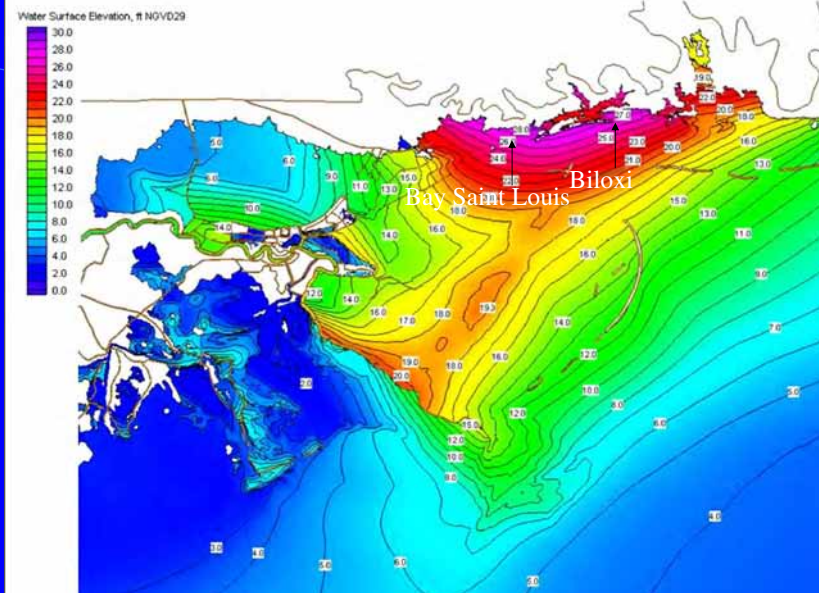
ロンドン通り運河北破堤現場



下第九地区の被害状況



高潮の数値シミュレーション



ハードウェアによる対策





# 奈良県・大塔地村地すべり

## 168号線地すべり

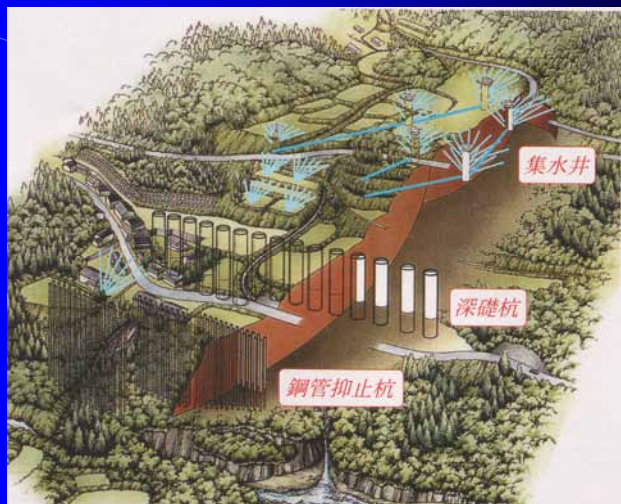
土のせん断強さ ( $\tau_f$ )

$$\tau_f = (\sigma - u) \tan \phi'$$

$\sigma$ : 全応力  
 $u$ : 間隙水圧  
 $\phi'$ : 摩擦係数に相当

すべり面(地すべり面)

# 地すべり対策の概要



# 日本における治水の歴史

## 治水工法の発達と戦国大名の台頭

- 甲府盆地(武田信玄)
- 新潟平野(上杉謙信)
- 大阪平野(豊臣秀吉)
- 熊本平野(加藤清正)
- 仙台平野(伊達政宗)

治水技術の発達→農業生産力の増大  
→国力の増大



## 甲州流

- 武田信玄によって行われた治水工法. 釜無川, 笛吹川などに適用.
- 信玄堤, 聖牛(水制), 雁堤, 万力林などを用いて主として急流河川に適用



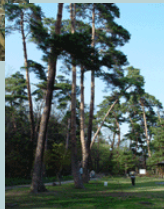
信玄堤



雁堤



聖牛



万力林

## 関東流

- 霞提、乗越提、遊水池などを用い、一時的に河川を氾濫させることで農地を守る. 用水と排水が不分離.
- 利根川・渡良瀬川・荒川が整備され(利根川東遷), 埼玉平野一帯が安定した水田地帯へと変貌した. 葛西用水

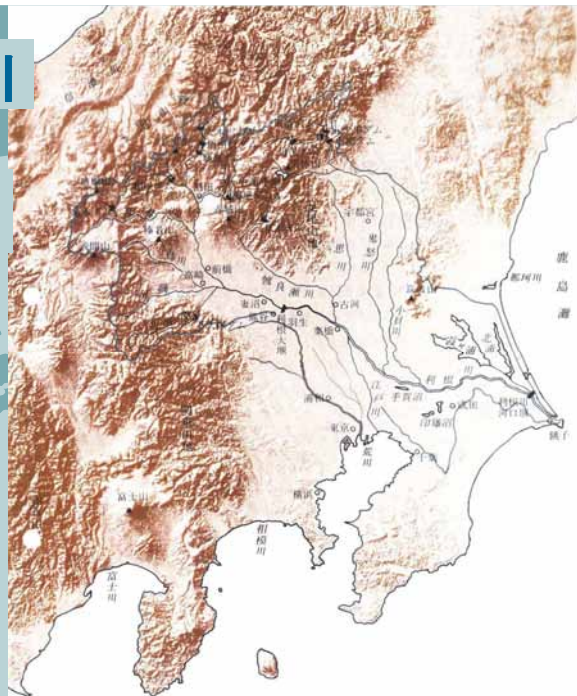
## 紀州流

- 連続した堤防によって河道を固定. 用水と排水を分離
- 関東平野の水田開発. 見沼代用水

## 利根川と荒川

江戸と東京の河川開発と治水

- 徳川家康入府前の利根川は江戸湾に流入
- 利根川を東に, 荒川を西に付け替えることで江戸を洪水から守り, 北関東の物資輸送をはかる.



江戸時代以前



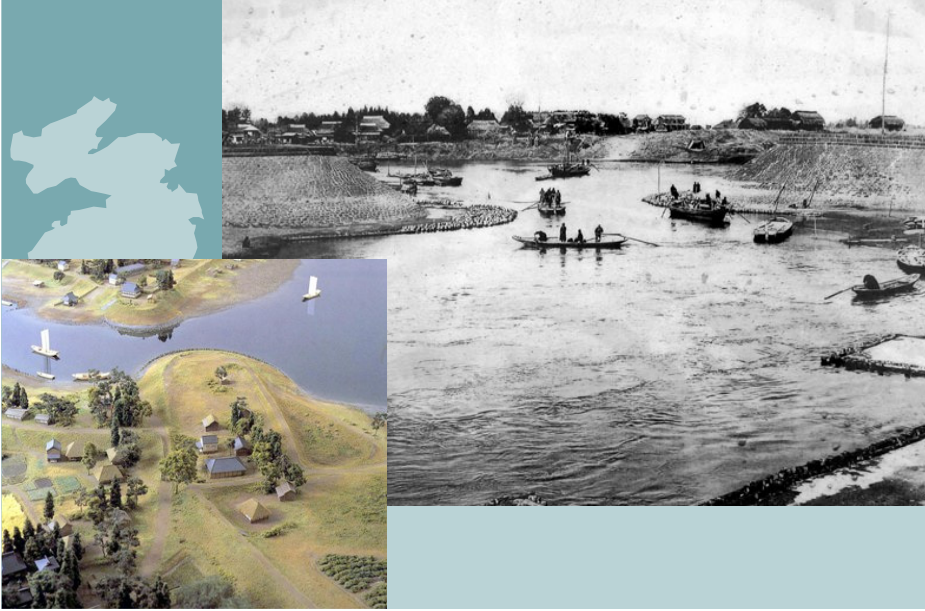
江戸時代末期



## 利根川と荒川の変遷



# 関宿棒出し



# 利根川と荒川の変遷

明治以降



# 明治43(1910)年洪水

関東各地で河川が氾濫. 破堤によって氾濫した利根川の水によって東京の下町のほとんどが浸水





- 死者、行方不明者1,379名、家屋損壊5,000軒。浸水家屋518,000軒。破堤7,266箇所。150万人が被災



## 荒川放水路の建設

明治43年の大洪水を契機に、東京の下町を水害から守る抜本対策として着手されたのが、「荒川放水路」の開削である。北区の岩淵に水門を造って本流を仕切り、岩淵の下流から中川の河口方面に向けて、延長22km、幅500mもの放水路を掘るという大規模なもの。全体の竣工には20年の歳月を要し、昭和5年に完成した。



## 現在の荒川放水路



## カスリン台風 アイオン台風

1947年(昭和22年)  
カスリン台風  
死者・行方不明者 1930名  
浸水家屋 28,520戸

1948年(昭和23年)  
アイオン台風  
死者・行方不明者 838名  
浸水家屋 不明

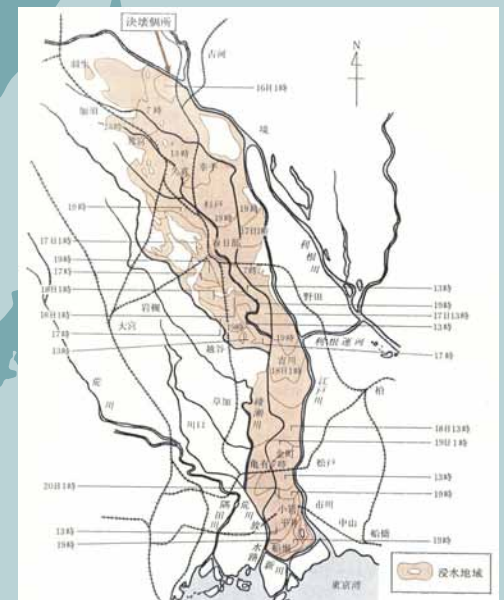


図3.14 利根川東村堤防の決壊による浸水範囲図。1947年9月16日、カスリン台風によって利根川は破堤し、氾濫流は南下をつづけ、5日後に東京湾にまで達した。(建設省利根川上流工事事務所資料から作成)





矢木沢ダム



下久保ダム



相俣ダム



藤原ダム



奈良俣ダム



渡良瀬遊水地



菌原ダム



草木ダム



荒川調整池



東京外郭放水路





# 信濃川

湿田から穀倉地帯へ

- 越後平野は大湿地帯
- 首まで湿地につきりながらの農作業
- 湿田に悩まされる農民
- 洪水に悩まされる住民
- 排水路・放水路を無数に掘って乾田化・洪水排水



## 信濃川放水路群

- 放水路
- 1 胎内川放水路 (1888年完成)
  - 2 落堀川 (1733年開削)
  - 3 加治川放水路 (1913年完成)
  - 4 新井郷川放水路 (1934年完成)
  - 5 松ヶ崎放水路 (1731年開削)
  - 6 関屋分水 (1972年通水)
  - 7 新川放水路 (1820年開削)
  - 8 樋曾山隧道 (1939年完成)
  - 9 新樋曾山隧道 (1968年完成)
  - 10 大河津分水 (1922年通水)
  - 11 円上寺隧道 (1920年完成)
  - 12 東部組合悪水路(隧道)(1903年完成)
  - 13 郷本川 (1873年完成)
  - 14 落水悪水路 (1920年完成)
- 1~7は砂丘を切って海へ排出  
8~14は第三紀の丘陵を切って海へ排出



### 大河津分水

信濃川の洪水を日本海に流すために、1922(大正11年)に人工的に開削された約10 kmの放水路

図 4.6 新潟平野の河川と放水路。わずか 100 km 程度の間に 14 本もの人工放水路がある。低湿地である新潟平野にとって排水条件の改良がいかに重要であるかを物語る。(6・26 新潟水害調査研究組織, 1979)

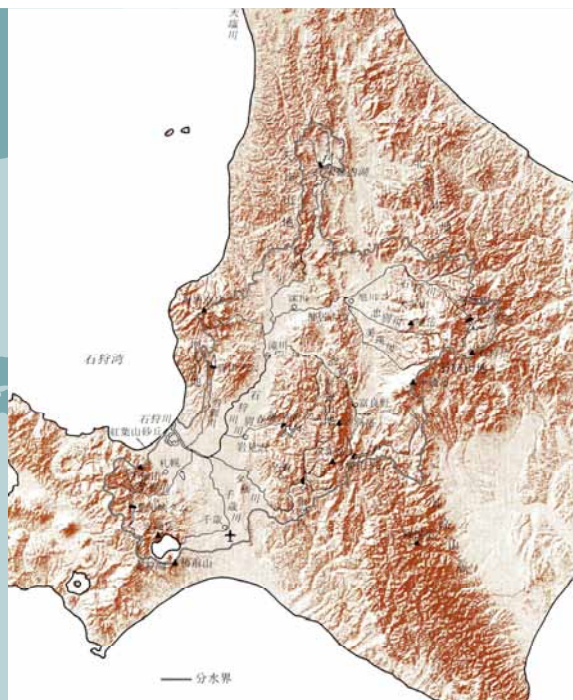


万象に天意を覚る者は幸なり

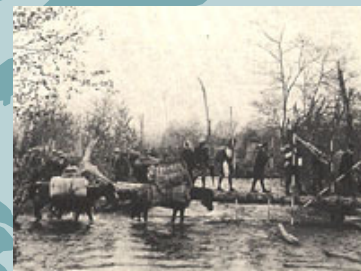
青山 士



## 石狩川の 開発と治水



## 北海道開拓の始まり



流域に広がる湿地  
馬に荷物を背負わせ倒木を  
渡りながら進む開拓民

石狩川対岸から月形市  
街地を望む  
舟運は重要な交通手段  
であった



## 明治31年(1898年) の大洪水

幅約40km、延長約100km  
に亘って浸水  
最大水位8.2 mを記録。  
死者は112人  
流失倒壊家屋2,295戸  
浸水家屋1万6,000戸  
浸水耕地反別4万1,000ha



砂川

岩見沢



## ショートカット工法

流下能力の向上, 洪水の抑制  
水位の低下による泥炭地の開発





# 戦後の復興と開発

## 治水整備と戦後復興



工事中の大夕張ダム（昭和30年）  
写真提供/夕張市立鹿島小学校



北海道で初めてできた多目的ダム・桂沢ダム  
[幾春別川]

公共事業による雇用の創出  
ニューディール政策に倣う

# 篠津泥炭地開発



建設当時（昭和30年代）の石狩川頭首工と  
篠津運河【石狩川】



新水路掘削中の掘削機  
（エキスカベーター）



現在の石狩川頭首工【石狩川】



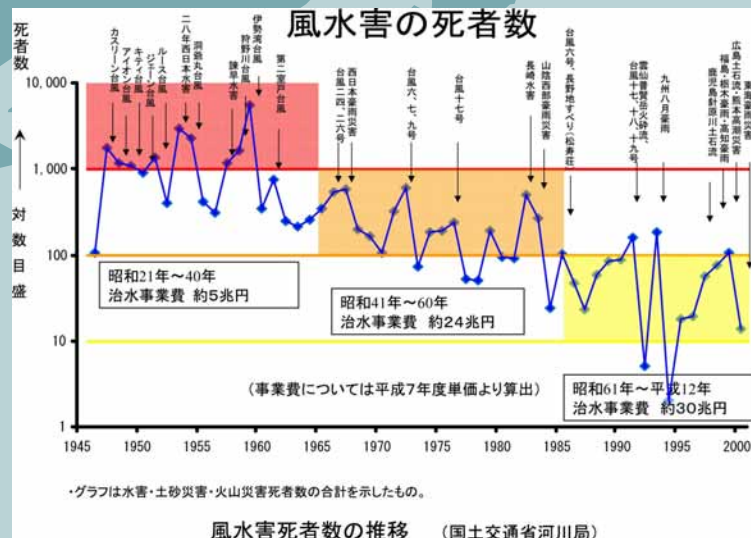
1898



1977

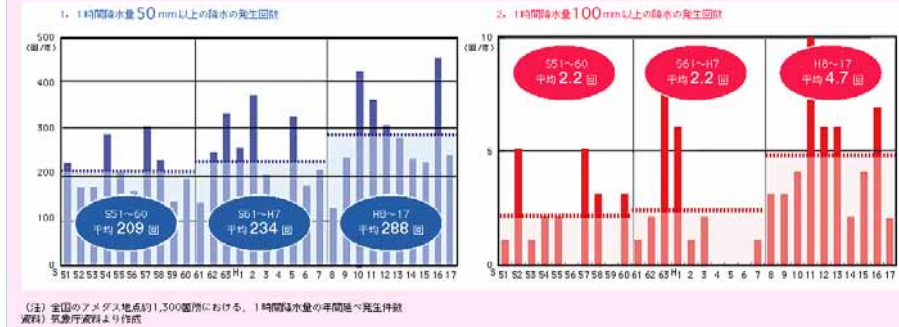
Wetland Urban Area Farm Land

# 水害による死者数の推移(国内)



# 長期的気候変動と異常気象

## 豪雨頻度の増加



## 洪水の多発、水害の激化

- 超過洪水対策  
想定外の洪水が発生しても被害が大きくなり  
ないような対策
- 剛から柔へ  
「洪水を完全に制御」から「うまく受け流す」へ  
西洋流、紀州流から関東流への発想転換
- ハードの整備だけに頼らない治水事業  
避難を円滑に行うソフトの充実

## 洪水の数値シミュレーション



## 標津川蛇行復元事業

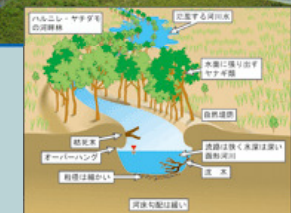


蛇行復元前



蛇行復元後

## 釧路川再蛇行化計画



多様な生物環境の創出と湿原の再生



# 災害・防災と土木工学

---

- **地球規模気候変動による災害の激化**

- 防災技術”の高度化
- 限られた予算の中でくらしの安全を確保するために様々な工夫を凝らす必要性
- 環境にできるだけやさしい防災技術の必要性

- **現代社会における防災の重要性**

- 電気, 水道, 道路, 鉄道等, 各種インフラを前提にした様々なアクティビティ
- 災害によって突然, 電気, 水道, 交通手段などが使えなくなると全てのアクティビティがストップ
- 特に重要な都市域を災害から守る必要性

- 今日の講義に対する感想, 防災や減災に対して今後どう取り組むべきかなどについて述べよ.