ICUS REPORT2012-04 (serial No.66)

第21回ICUSオープンレクチャ

北海道大学サステナビリティ・ウィーク2011
ジョイント公開講演会
「持続可能な都市システムの構築を目指して」

2011年10月31日（月）

東京大学生産技術研究所
都市基盤安全工学国際研究センター

第 21 回 ICUS オープンレクチャ

北海道大学ｻｽﾃﾅﾋﾞﾘﾃｨ・ｳｨｰｸ 2011

ｼﾞｮｲﾝﾄ公開講演会

「持続可能な都市システムの構築を目指して」

2011 年　10 月　31 日（月）

至　北海道大学学術交流会館講堂

共催

北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学部門・環境ﾌｨｰﾙﾄﾞ工学部門

東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター

沢田 治雄, 泉 典洋, 目黒 公郎, 加賀屋 誠一

ICUS Report No. 66

2012 年 12 月

都市基盤安全工学国際研究センター

第 21 回 ICUS オープンレクチャー案内

北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学部門・環境フィールド工学部門
東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター

ジョイント公開講演会

「持続可能な都市システムの構築をめざして」

https://www.sustain.hokudai.ac.jp/sw/application/index.php

2011 年 10 月 31 日　北海道大学学術交流会館・講堂

本ジョイント講演会は、少子高齢化、財政健全化、高度技術社会、環境負荷低減、地方分権、縮小均衡などを特徴とする 21 世紀のわが国において、人々が豊かで安全に暮らせる都市インフラシステムを実現し継続させるための課題抽出とその解決策を提案するために、多分野の専門家間で、そして専門家と一般市民との間で情報交換する場を提供するものです。

「活動期に入ったといわれる地震による巨大災害やゲリラ豪雨に代表される都市型洪水災害などの都市が直面する各種のハザード」、「頻発する異常気象に見られるような気候変動下で世界が受けている各種の広域ハザード」、「膨大な社会基盤施設と少ない技術者、膨大な維持管理費と公共投資の削減などに代表される様々な不均衡により訪れる危機」などの観点から、人々の豊かな生活を継続的に守り抜くための課題抽出と解決策の提案のために、情報交換や意見交換をしましょう。

なお，このジョイント公開講演会は、北海道大学大学院工学研究院環境フィールド工学部門・北方圏環境政策工学部門と東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センターが共同で開催します。

プログラム

司会　横田　弘（北海道大学大学院工学研究院・教授）

13:30～13:40　開会の挨拶
　萩原　亨（北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学部門長・教授）
　目黒公郎（東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター長・教授）
13:40～14:25　地球規模の環境変動下における広域ハザードとその監視
　沢田治雄（東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター・教授）
14:25～15:10　迫る水危機－枯渇する水資源と激化する水災害
　泉　典洋（北海道大学大学院工学研究院環境フィールド工学部門・教授）
15:10～15:30　休憩
15:30～16:15　東日本大震災を踏まえた今後の地震防災のあり方
　目黒公郎（前掲）
16:15～17:00　持続可能な都市基盤整備計画の方法と適用
　加賀屋誠一（北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学部門・特任教授）
17:00～17:20　総合討議
17:20～17:25　閉会の挨拶
　泉　典洋（前掲）

18:00～20:00　意見交換会（ファカルティハウス「エンレイソウ」）

目次

1. はじめに （横田 弘）・・・

1. はじめに

横田弘　北海道大学大学院工学研究院・教授 /
東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター・客員教授

時間になりましたので，ジョイント講演会を開催させていただきます．このジョイント講演会は，北海道大学大学院工学研究院の土木系 2 部門であります北方圏環境政策工学部門と環境フィールド工学部門，および東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センターの共催で開催させていただきます．

本日は皆さん，ご多用の中，多数お越しいただきましてありがとうございました．今日の司会進行を務めさせていただきますのは，北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学部門の横田です．半日ではありますが，ご協力をどうぞよろしくお願いいたします．

それでは，開会に先立ちまして，両主催者を代表しまして，北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策部門の部門長であります萩原先生からごあいさつをいただきます．よろしくお願いします．

開会の挨拶

萩原　亨（北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学部門長・教授）

皆さま，こんにちは．北海道大学の萩原と申します．今，横田先生からご紹介がありましたように，本ジョイント公開講演会を共催する北方圏環境政策工学部門の部門長をしております．その関係で一言，ごあいさつをさせていただきます．お願いいたします．

皆さま，ご多忙のところ，北海道大学と東京大学とのジョイント公開講演会にご参加いただき，ありがとうございます．また，東京大学の関係者の皆さま，北海道大学にお越し

いただき，大変ありがとうございます．本日，このジョイント講演会では，さまざまなリスク状況下での都市の予測可能性が議論されると聞いています．

私自身は都市の交通, 特に自動車関係の交通事故を減らすことについて研究しています．皆さまお聞きのように，最近は自転車の話題が取り上げられることが大変多くなっています．車道を走ろうということがありますが，北海道は雪がありまして，全国に引き続き車道に行けと．一体どうすればいいのかという細かいことをやっています．衝突が道路上で起きるわけですが，そういうリスクを小さくするシステムを持ちながらやっています．自転車や交通事故は, ここで取り上げられるような巨大なエネルギーを持った事象とは違い，小さいエネルギーの事象と思われます．ただ，それを解決することに関しては非常に似ているのではないか．都市のリスクは，先ほどの自転車の話もそうですが，多数のステークホルダー，意思決定者がおりまして，たとえリスクがあることが分かったとしても，それを調整することが，意思を決定していって，次にどういう政策を行っていくのかということは大変難しく，複雑な問題として，私自身，取り組ませてもらっています．

本日のご講演では，都市全体を覆うような巨大なエネルギーを持つリスクをどうとらえるのか，それをどのように対策として，今後，方策を考えていくのかなどについて，貴重なお話を伺えると考えています. そのようなお話をお聞きできることを期待しております．

以上をもちまして，私からのあいさつに代えさせていただきます．どうぞよろしくお願いいたします．

（横田）　では続きまして，東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター長の目黒先生からごあいさつをちょうだいしたいと思います．

目黒　公郎（東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター長・教授）

皆さん，こんにちは．ただ今，横田先生からご紹介いただきました東京大学生産技術研究所にあります都市基盤安全工学国際研究センター，通称 ICUS（アイカス）といいますが，その ICUS のセンター長の目黒です．今日はお忙しい中，北大と ICUS の共催による公開講演会にご参加いただき，誠にありがとうございます．

私どもの研究センターICUS は，2001 年にその前身の国際災害軽減工学研究センターを改組して，研究分野を拡充して発足しました．10 年の時限付きセンターでしたが，2010 年の時限の前に，発足からの活動について国際的に著名な外部評価者による第３者評価を受けました．その結果を受けて，これまでの活動と培ってきたネットワークを基盤に，さらに飛躍する活動をしなさいということで，新たに 5 年間の活動の延長を認められました．皆さまのお手元の資料の中に新生 ICUS のパンフレットがあるかと思いますが，2010 年までの 3 部門をそれぞれ新しい部門に名称を変えました．ちょっと変わった名称になっていますが、この名前の変化は，われわれの活動の変化，志向の変化を表しています．「災害安全社会実現学」，「国土環境安全情報学」，「成熟社会基盤適応学」の三つの分野の活動によって，安全な都市，安全な住環境の実現を目指す新生 ICUS が誕生しました．

センターの活動は，「先端研究の実施」，「ネットワーキング」，「情報の収集と配信」に分類されます．先端研究とは，大学の研究機関として，３部門に掲げたそれぞれの研究分野に対する最先端の研究を実施するということ．ネットワーキングとは，上述したようなセンターの設立目的は，いろいろなコミュニティーや個人からの支援や協力がなくては達成できないので，コミュニティーづくりを重要視するということ．情報の収集と配信は，都市基盤の安全に関連する情報を効果的に集めて，うまく加工/分析，管理して，うまく発信するということです．

今回，皆さんにご参画いただいているこの公開講演会は，主に「ネットワーキング」と「情報の収集と配信」に関係する活動です．専門家と一般の方々が一堂に会して，一般の方々には，今，専門家の間でどういったことが問題になっているのかを分かりやすい言葉で専門家が説明する．専門家には一般の方々が現在どういったことに興味をお持ちかを理解したり，重要課題に対して誤解が生まれないように，一般の皆様と意見交換したり一緒に議論したりする場の提供を目的に，毎年 2〜3 回ずつ開催させていただいています．通常は東京の自分たちの研究所で開催してきたのですが，このたびは，先ほど来，司会をしていた

だいている北海道大学の横田先生が私どもの研究センターの客員教授をしていただいている関係から，ぜひ北大で一緒にやらせていただきたいと申し出たところ，快くお引き受けいただき，今日の開催となりました.

今日は講師として，北海道大学の先生がお２人，東京大学側からも同様に２人，今，ホットで重要なテーマについてのお話を頂戴することになっています．会場の皆さまは，それらのお話を聞いていただいて，積極的にご質問やコメントをしていただきたいと思います. また，講演会の後には意見交換のための懇親会も用意していますので，ぜひそちらにもご参画いただき，有意義な時間を持っていただければと思います.

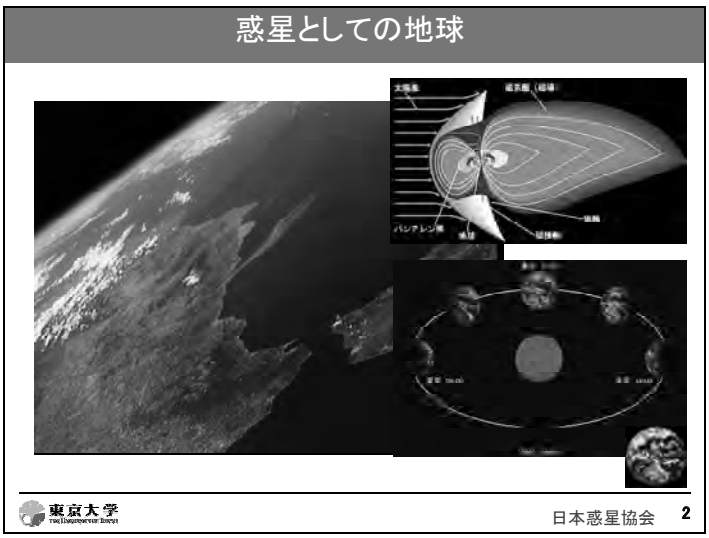
では，少し時間が長くなるかもしれませんが，最後までお付き合いいただきますようよろしくお願いします.

2. 地球規模の環境変動下における広域ハザードとその監視

沢田　治雄（東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター・教授）

都市基盤安全工学国際研究センターでリモートセンシングの実利用の研究をしています．

早速ですが，「地球規模の環境変動下における広域ハザードとその監視」という話をさせていただきます．地球規模の環境変動は，かなり長い間，話題となってきましたが，その環境変動が「最近，暑いね」あるいは「寒いね」というだけではなくて，ハザードとして認められるときに，災害として大きな問題となります．

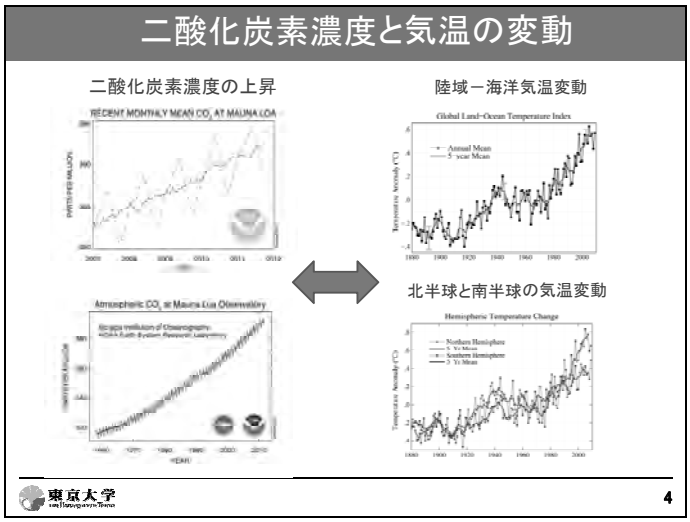


さて，広域ハザードや地球環境を考えるときに，まず宇宙における地球の存在を思って，そこからいろいろなことを考えてみてください．地球は一つの惑星ですが，太陽の周りを回っていることで，四季を持ち，全球の環境が平均化されて，世界中で生物が暮らしていけます．月の存在も地球の自転を安定化させていると考えられています．また，バンアレン帯で宇宙線か

ら守られているために生物が生存できると考えられています．このように地球は微妙なバランスの中で我々生物が住める環境を提供してくれています．

しかし，宇宙から地球を見ると，この地球の大気層は，少し青っぽい線のように見える程度で，非常に薄いものです．私たち生物は，この中でしか生活していません．地球規模の環境変動問題は, この層の中で起きているもので, この中にある生態系がさまざまな影響を受けます．

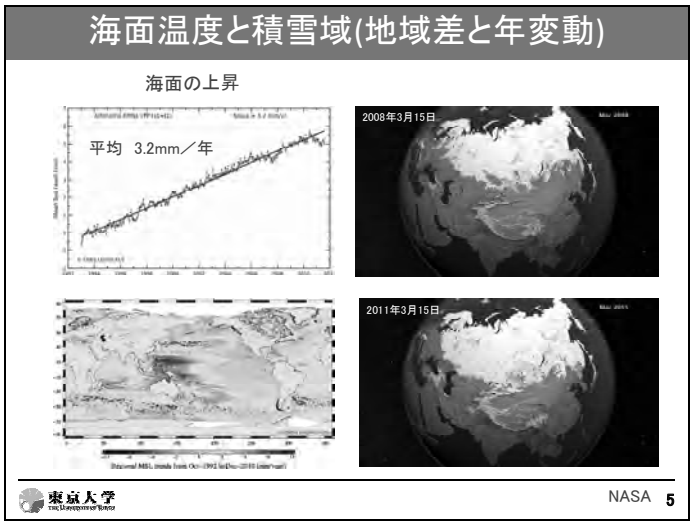
私たちを含む生物は，大気や水の循環，海洋の循環などから生成された大気による生物圏の創造といった, 長い過程で生まれてきた環境の中に生まれてきました. 最近の地球環境変動は，これまで様々なバランスの中でつくられてきた自然環境が，崩れてきているのではないか．それも人為由来の原因によって，崩れてきているのではないかということを問題として提起しています．環境変動の対策のためには，その原因と，及ぼしている影響の両方を見ることがどうしても必要です．



この図は，二酸化炭素が上昇してきていることを示しています．気温変化は，この二酸化炭

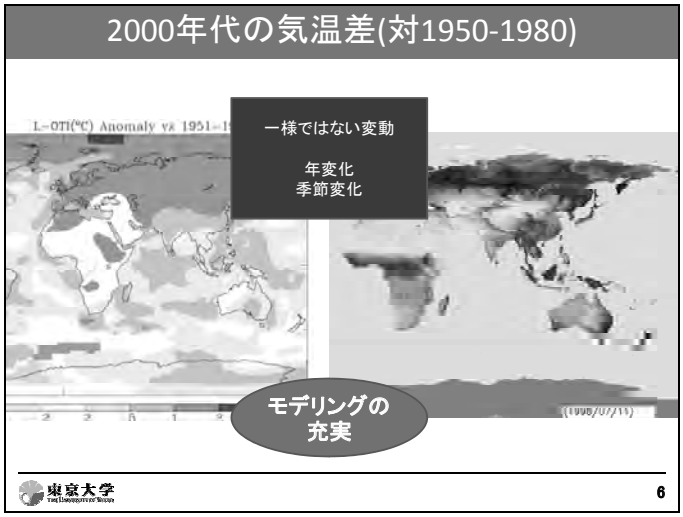
素濃度のようにストレートに上がってきているわけではなくて，大きな年々変動を示します．

しかも，南半球と北半球では，その変動の仕方が違います．例えば青い線は南半球，赤い線は北半球です．温暖化といっても，そこに表れてくる事象は年ごとに，また季節ごとに，しかも場所によって変わってくるものです．

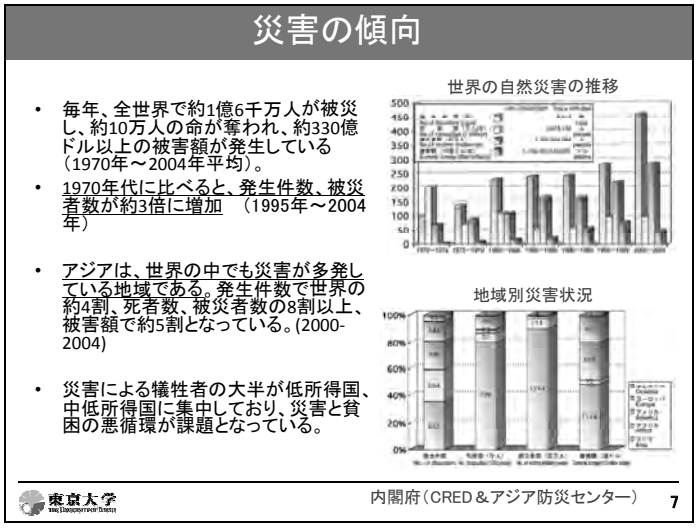


海面上昇も温暖化がもたらす大きな問題です．この図は海面上昇が年平均で 3.2mm 上がっていることを示しています．地球全体での統計値はそうかもしれませんが，衛星から海面の高さを測ってみますと，非常に高くなっているところと，逆に最近低くなっているところといった分布が見られます．このような海洋と大気環境に生態系が，あるいは私たちの住空間が影響されていますので，その影響度合いも年ごとに，場所によって異なるということになります．

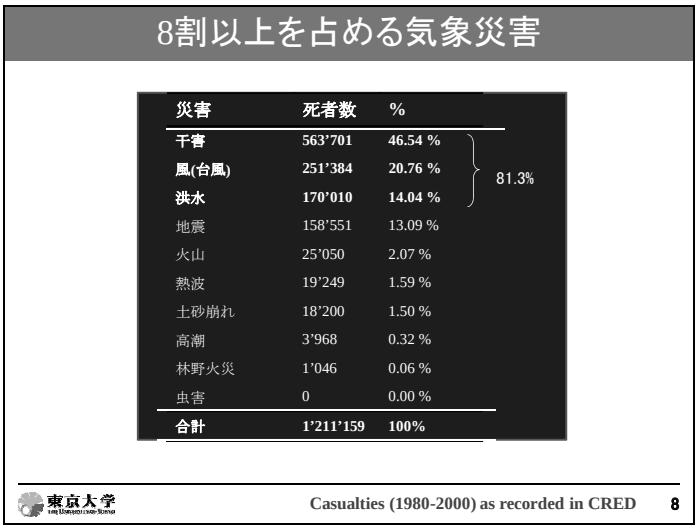
積雪状況を見てみます．一般的には，昔の方が雪は多い．しかし，例えばこれは 2008 年と 2011 年の比較です．どちらかというと 2011 年の方が雪は多い．温暖化は，こういう振幅を持って，徐々に影響を与えてきています．



例えばこの温度差の図は，この 20 年間，北極周辺で特に気温が高くなっていることを示しています．世界的には一様ではない変動，年変化，季節変化を示しています．こういった一様ではない変動を，モデルによって再現し，自分たちの生活に照らして，今後の予測をする必要があります．ですから，私の専門はリモートセンシングで地球を監視することですが，災害に対して予防的な措置をするためには，地球規模での環境変動モデルも必要です．



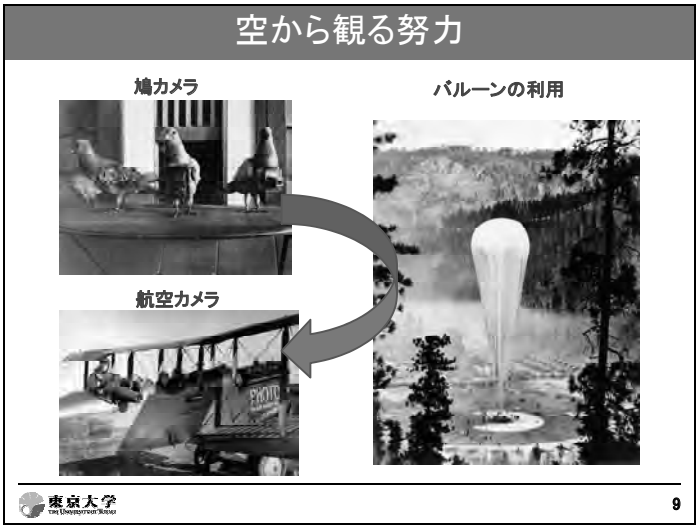
この図は，災害が世界でどのように増えてきているかを示しています．特に被災者の数で見ますと，アジアで非常に多く，約 8 割の被災者がアジアに集中しています．ですから，私たちの災害研究は，特にアジアを中心にすることが多くあります．



災害	死者数	%
干害	563’701	46.54 %
風(台風)	251’384	20.76 %
洪水	170’010	14.04 %
地震	158’551	13.09 %
火山	25’050	2.07 %
熱波	19’249	1.59 %
土砂崩れ	18’200	1.50 %
高潮	3’968	0.32 %
林野火災	1’046	0.06 %
虫害	0	0.00 %
合計	1’211’159	100%

81.3%

災害の中では，地球環境変動に影響されるような気象災害が 8 割を占めています．乾燥害，風害，洪水で，8 割方を占めています．今年 3 月に発生した東日本大震災では 2 万人ほどの方が亡くなりました，平均して年間約 10 万人が被災していますが，気象災害がやはりダントツに多いと言えます．

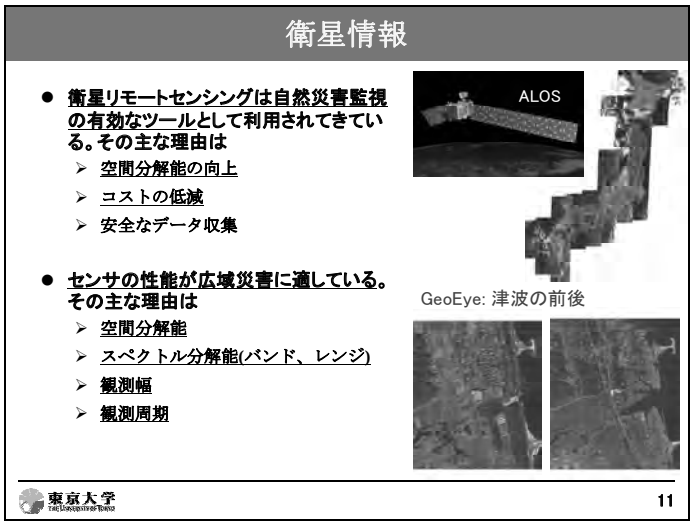


ところで，私の専門である地球を観測するリモートセンシングについて簡単に紹介しておきます．離れたところから適当な装置を使って観測することを，リモートセンシングと言っています. 人は何とか空から見たいという願望が昔からあったようです. をそれを実現するために，ヨーロッパではハトにカメラをつけて敵の陣地を撮ったこともあります．そのうち，気球を使うようになりました．この写真には大きなカメラが写っていますが，飛行機が発達した中で，カメラを積んで撮ることが行われてきました．何とか上から撮りたいというのは，戦争の目的に限りません．最初に気球を使ったのは森林管理のためで，自然環境を見るために上から広く見ることが有効であるということで，ずっと利用されてきました．

現在はこの図に描かれていますように，様々な地球観測衛星が観測を行っています．

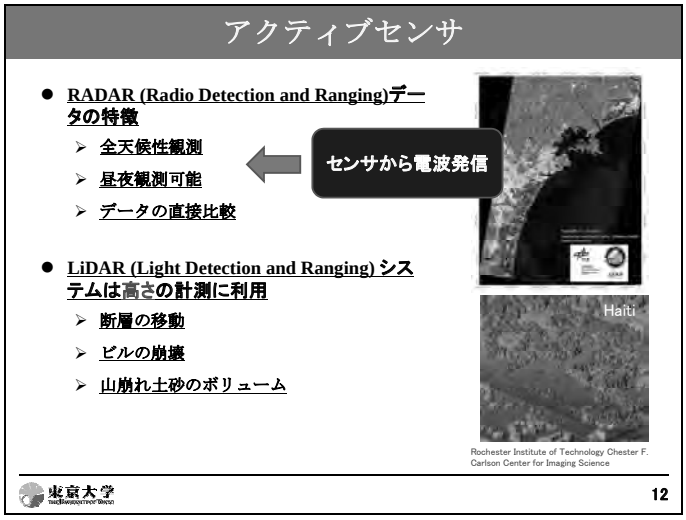
リモートセンシングによる観測の特徴を少し話しておきますと，一つの特徴は電磁波で測るということです．これは人間の目で見えない光で計測する技術ということです．例えば，私たちは気象のために雲を見るだけではなくて，雲の下の災害の様子を見たいということがありま

す．そうなると，その雲を透過して見る技術が必要になります．それがレーダーです．さらに三次元構造．例えば建物の高さや樹木の高さを測ると，都市環境や資源把握に有効であるだけでなく，災害時にも被害把握に有効です．こういったセンサの特徴は，誰かが欲しい機能を夢のように想像し，それを誰かが実現させてきた，歴史的かつ協調的な産物ということができます．



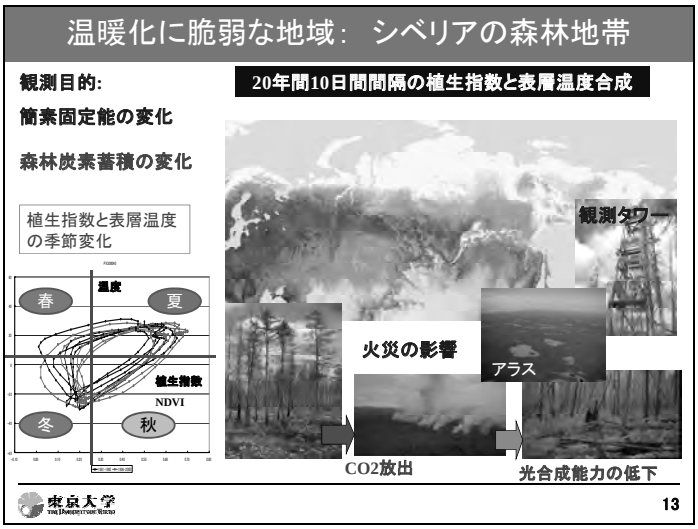
このリモートセンシング技術，特に衛星観測技術は，自然災害関係でも有効性が向上したと言われています．その理由の一つは空間分解度の向上です．空間分解度は，どのくらいの面積単位で見られるかということですが,人工衛星だと今のところ 50cm 四方が民需的に使われています．これは車の台数が数えられるような分解能ですね．

もうひとつの理由は，スペクトルの分解度能の向上です．リモートセンシングは，人間の目で見えない光，波長で観測しますが，その波長域をさらに細かく見ることができたり，利用する波長域が拡大したりして，さまざまな性能を持った，特徴あるセンサが出てきています．



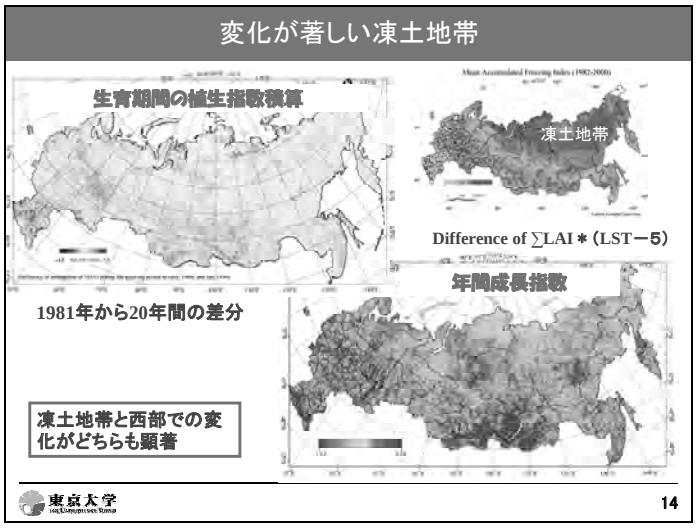
さらに紹介しておきたいのは，アクティブセンサと言われているものです．太陽の光の反射を見るのが普通の私たちの眼ですが，そうではなくて，例えば衛星の側から電波を発信して，その反射を計測するというものです.利用する波長を選択することによって,どんな天気でも，あるいは昼でも夜でも地上を観測することができるセンサが開発できます．それによって，標高や，樹木の高さを測ることができるセンサも開発されています.

今回のテーマである地球環境変動とは違うのですが，この画像は東日本大震災の津波被災地のものです．今紹介しましたアクティブセンサの一つである，合成開口レーダーの画像です．雲があっても，どこまで津波が浸水したかが容易に分かるデータです.

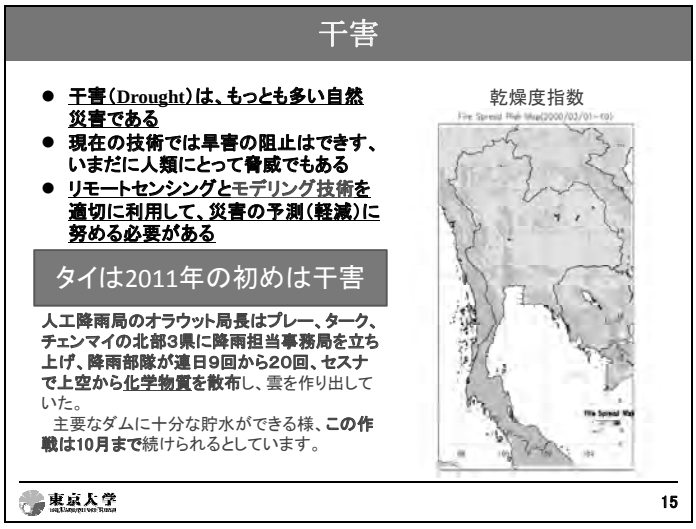


こういった道具を使って地球を見た様子を幾つか紹介します．特に地球環境問題という視点で，まず第 1 に考えるのは，環境変動に対して脆弱な地域です．温暖化に脆弱なのは北方の地域です，さらに高山地帯，標高の高いところの植生状況の変化が下方にある都市の環境にも影響します.

そのような脆弱なところに関して衛星データによる観測研究を進めています．この図はシベリアの例ですが，緑のところが森林です．その地域がどのような季節的変化を起こしているかを見る技術を開発しました．この技術によって，再生された画像からは雲は消えています．白いところは雪です．季節変化を明らかにするため，例えば 20 年間分をまとめた 10 日間隔のデータを作っています．それによって，温暖化が直接的な原因と言って良いかは分からないのですが，北緯 50 度あたりで，20 年間で大きな変動が見えてきています．季節変化の状況は毎年異なることがわかります．このようにして，地球環境変化とその影響を広域に見ることができます.



ここは北大ですので，北極圏の研究をされている方も多いかと思いますが，この成果は私たちが北大と共同研究させていただいた成果の一つです．このときは 20 年間の変化を観測して，非常に大きな変化が凍土地帯で起きていることを明らかにしました．

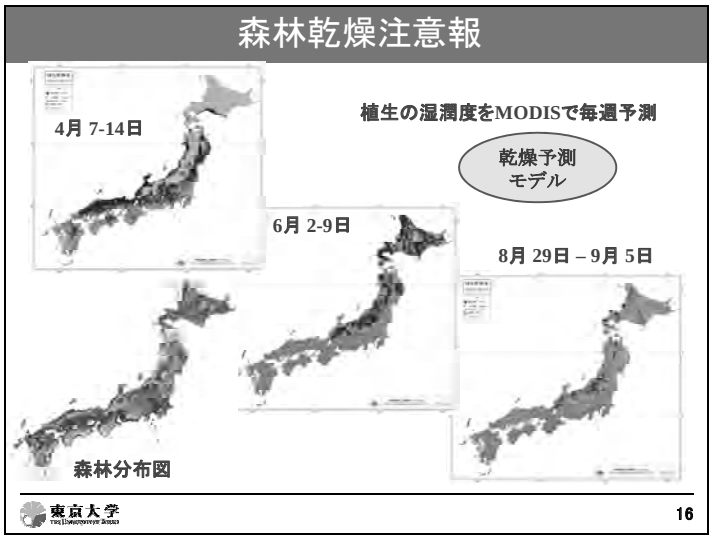


これは，いわゆるハザードの問題です．人間はほとんどいませんので，ディザスターにはならないかもしれませんが，ハザードとしては極めて大きな問題を持っています．こういった地域での監視技術として衛星リモートセンシングは極めて有効です．

乾燥も非常に大きな国際的な環境問題を生んでいます．サハラ砂漠だけではなく，中国やタイでも乾燥による砂漠化が大きな問題を生んでいます．

今年の 10 月にタイで大規模な洪水が発生しましたが，今年の初め，タイは雨が降らず，全然水がなくなって乾燥害が非常にひどかったのです．農業への影響が甚大で，ダムでの水管理が問題となりました．そこで，今年の 10 月まではダムにずっと水を保つと，今年の初めに決めていました．このために，大雨が来た時には，ダムが満杯だったために適切な水管理ができず，

下流で洪水となってしまいました．このように適時に政策を変えることができずに，ひとつの災害対応だけを考えていると，別の災害を引き起こすことも起こります．気象観測と，気象予測がダム管理に反映されなかった例です．

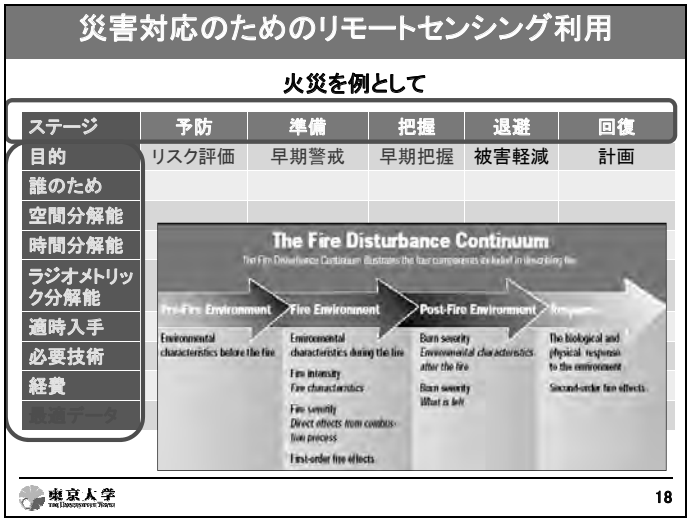


私たちが地球観測の研究をする際には，観測されたデータからモデルを作って，次にどうなるか，予測をして備えることが必要です．

これは日本全国の乾燥度を示したもので，毎週，それまでの傾向を分析して翌週はどのぐらい乾燥するか予測しています．衛星観測では「こうであった」という過去の情報を示すだけですが，さらにモデルによって予測することで，森林火災の予防などに役立てることが出来るのです．天気予報のように，こういった地上の乾燥も衛星データを基に予測するシステムが作られています．

さて，森林火災の問題さらに少し見てみます．森林火災は直接的には人為的要因が大きいのですが，大規模森林火災は乾燥が起因となります．森林火災は，木材がなくなるという資源の

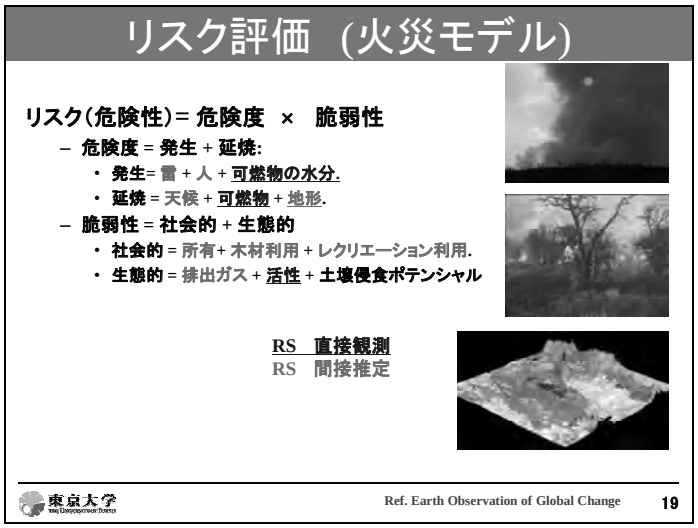
問題だけでなく，CO_2 の排出，煙が起こす健康害などさまざまな影響を及ぼします．特に大気中の CO_2 濃度上昇の約 2 割は，森林減少に由来するので，今は森林由来の CO_2 排出量を減らすという REDD（途上国における森林減少・森林劣化に伴う排出削減）が，国際社会で非常に大きな課題とされています．温暖化対策における京都議定書の次の枠組みの中では，この REDD に対応し，森林からの排出を減らす努力をすることが世界で合意されています．違法伐採とともに，森林火災が非常に大きな問題となっています．



災害を情報の観点から，もう少し見てみます．災害に関してはいくつかのステージがあって，予防の段階，準備の段階，特に気象関係や地球環境の変動に関しましては，重要となる予測が必要なステージです．それから災害が起きたときの早期把握，直後の退避や捜索，それから被災地の復旧，復興といったステージが考えられます．このさまざまなステージにおいて，必要な情報が変わってきます．

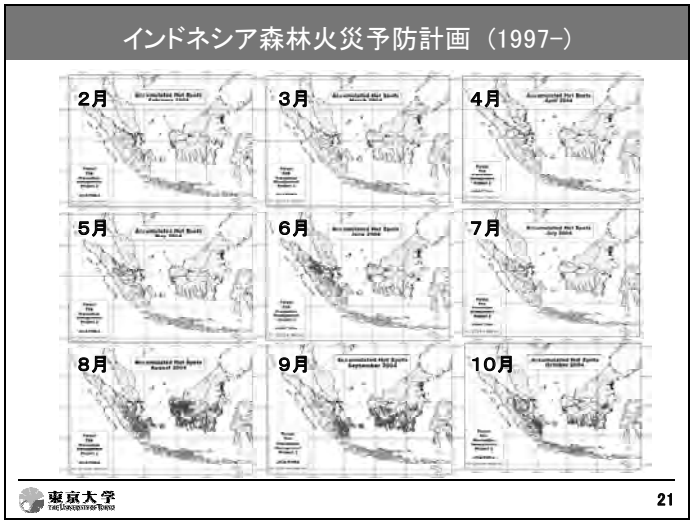
災害のそれぞれのステージでどのような情報が必要かというと，活動の目的が各ステージで異なりますので，誰のために，どの程度の細かさ，分解能で，あるいはどの程度の頻度でといった要求が変わり，必要とする情報も次々と変わってきます．各ステージで必要とする情報のマトリックスを埋めることができれば，事例的に示された観測技術のポテンシャルが，実用可能であることを示すことになります．

ですから，リモートセンシング研究は，ポテンシャルとして事例的に利用できることを示すだけはなくて，様々な場面で使えるという可能性示し，実用化の道を示すことが重要となっています．私たちの研究も，人工衛星の観測装置を開発するというよりは，観測されたデータから実社会の中で使っていける情報をいかに抽出するかということが，大きな目的です．

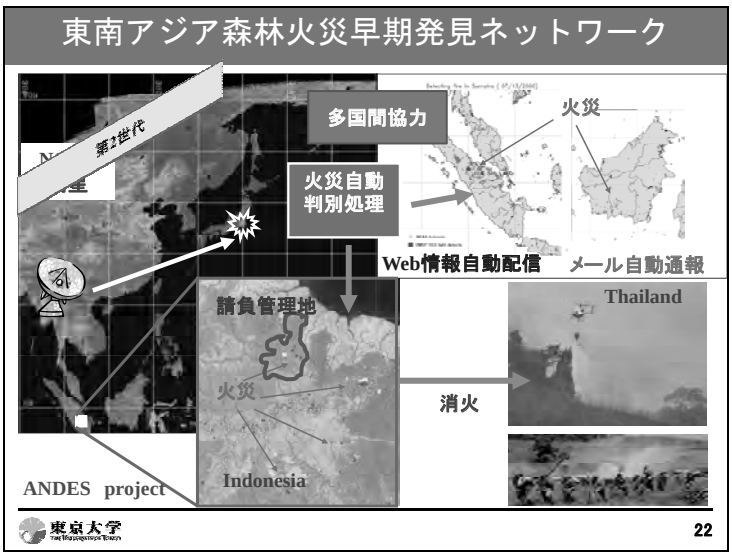


例えば森林火災であれば，延焼危険度や火災に対する脆弱性を考えます．この場合，物理的ファクターだけではなくて，社会的ファクターも含めて考えるということになります．

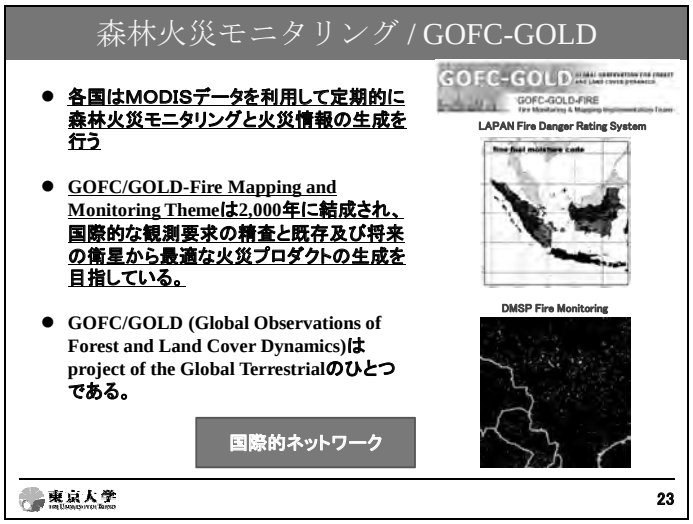
例えばこれはインドネシアの森林火災の例です． 1997 年から 1998 年に非常に大規模な森林火災が起こりました．そのときに，二国間協力で JICA プロジェクトとして衛星受信機をボゴールに設置しました．そして，このような画像を作りました．これは私がインドネシアで作った最初の画像です．気象衛星ひまわりとノア衛星で観測された衛星画像を重ねました．これによって，同じように白く見えるところでも，煙なのか，雲なのかを把握できます．



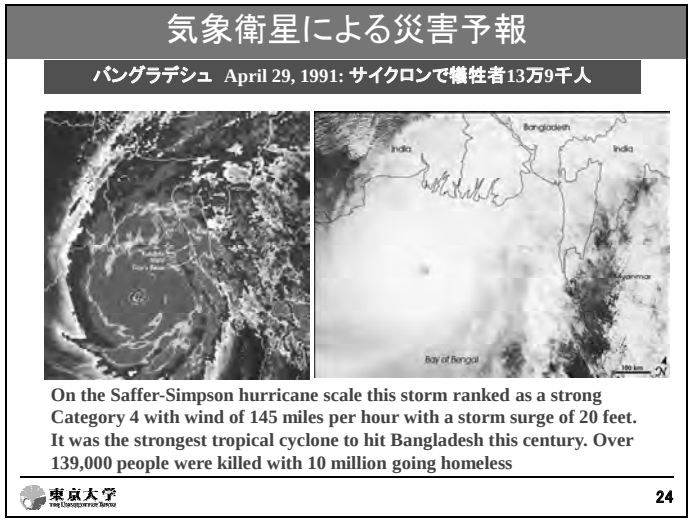
この図は，2 月，3 月，4 月と書かれていますが，毎月，どこで火災が起きたかを示したものです．これらは火災履歴として非常に大事です．火災の発生しやすい時期を示すだけでなく，一度火災が起きたところはまた火災が起きやすいとか，燃え広がりやすいなど，いろいろと関係することがあります．火災履歴や災害履歴は非常に重要な情報となってくると思います．



先ほどの紹介はインドネシアで行ったことですが，近隣の国からの要求も様々ありました．そこで，私たちが次にやったのは，第 2 世代といいますが，東南アジアの森林火災早期発見ネットワークの開発でした．これは日本で，タイで受信された衛星データを利用して，東南アジア全体をカバーするものです．発見した火災をさらに現地の国に通報して，消火にあたってもらうというものを作りました．

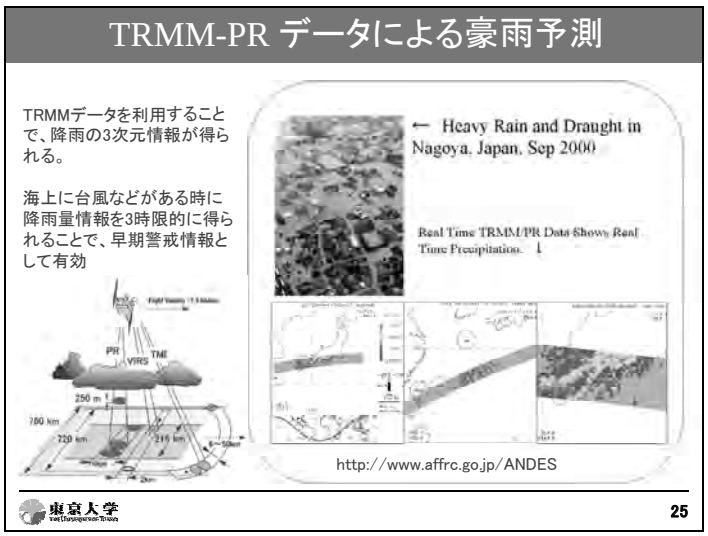


さらにそのような活動を展開することで，国際的なネットワークが形成されています．森林火災の場合は，広域森林被覆監視 GOFC-GOLD という国際的なグループがあって，ネットワークを作っています. 災害情報を共有して, 森林火災や災害に関わる情報の標準化を図っています. ある国や機関では「これだけの森林が燃えた」と報告しますが，その値が機関によって著しく異なることもあります．そのような時には，標準的な手法で評価を行う必要があります．それによって，国際協力も円滑に進むことが期待できます.

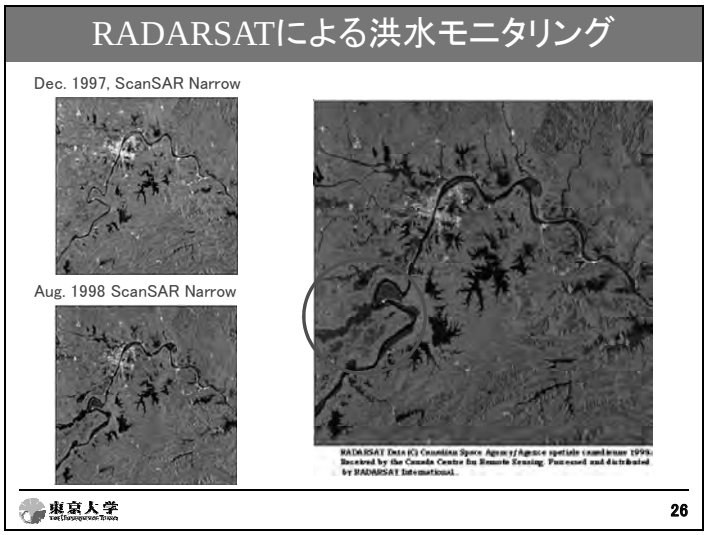


国際ネットワークはもちろん森林火災分野だけではありません. ご存知のように, 気象に関しては，国際的な観測ネットワークが以前からあります．先ほど，どれだけの衛星が地球の周りを飛んでいるか示した図をお見せしましたが，赤道の上には静止衛星がきちんと配置されていて，地球全体の気象状況を常に監視するシステムがあります．例えば日本のひまわり衛星が壊れたときは，アメリカの気象衛星が赤道上を動いてきて，日本とオーストラリアの地域の気象観測が継続されました.

これらは気象衛星における災害関連の幾つかの例です．例えば，これはバングラデシュを1991 年に襲ったサイクロンです．



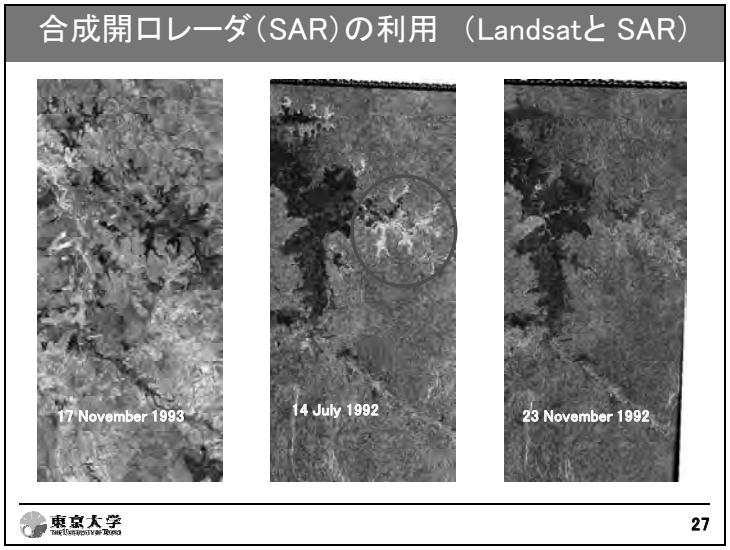
こういった衛星データを使うことの利点は，自分の国に近づいてこないと分からなかったサイクロンの威力などが，事前に分かることです．これは熱帯降雨レーダ TRMM という衛星データですが，三次元的に，どこにどれだけ強い雨が降っているかが，台風やサイクロンが海上にあるときから分かります．降雨強度の計測には，レーダーが必要ですので，サイクロンが陸に近づいたらその強度が分かるのですが，それでは災害の予防に間に合いません．TRMM 衛星のレーダーを使うと，海上にいる時から，サイクロンのどちら側で強い雨が降っているかなどが詳細に分かるので，その情報を防災に役立てることができます．



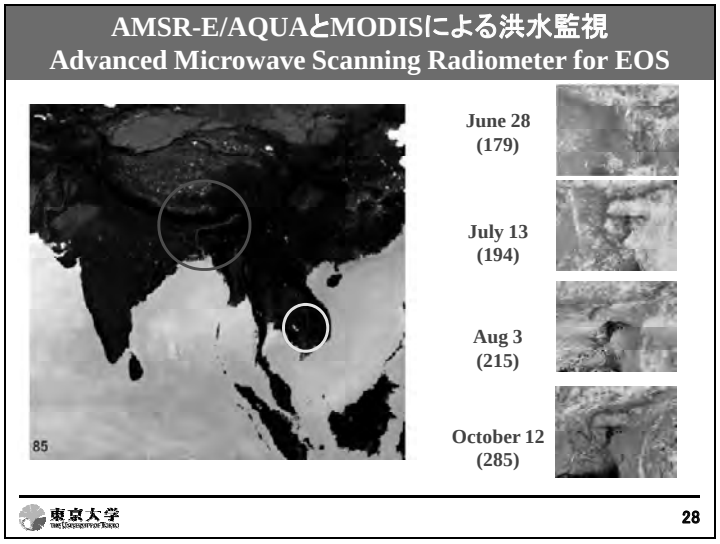
これらは基本的にはオープンのデータで，誰でもデータを入手して処理できます．ここで紹介したものは私たちが作り上げたシステムですが，こういった処理を行うソフトウェア自身もフリーで入手できますので，ネットワークさえあれば，このような処理を行って，今，世界の

どこで大雨が降る危険性が高いかを知ることができます．そういった情報やソフトの開示も，最近急速に進んできています．

洪水の話を少し加えますが，洪水を観測する能力としては，雲を透過して地上を観測できる合成開口レーダーが高い能力を持っています．この図の例は，二時期の RADARSAT 衛星のデータを処理したものですが，赤いところが二時期での差です．つまり，赤く示されている場所は洪水の起きている地域だということが分かります．洪水が起きているような天気のときは，雲がありますので，太陽の反射スペクトル観測では地表の様子が見えないのが普通ですが，合成開口レーダーを使えばこのように見えてきます．



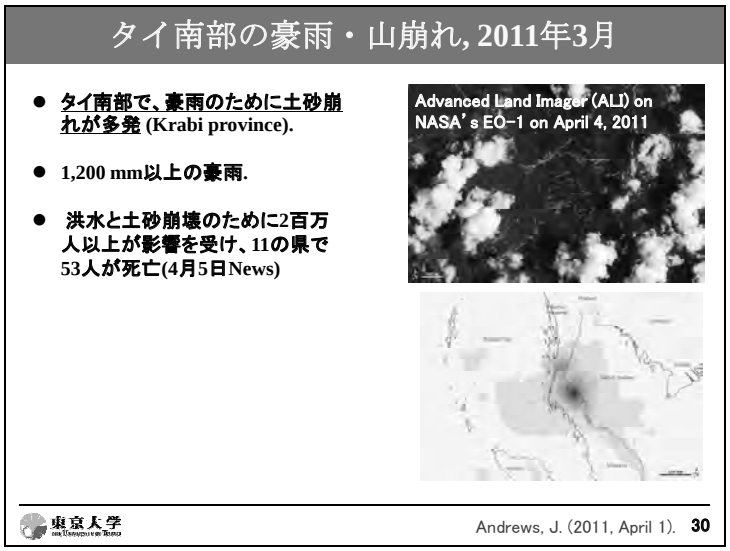
また，河川は黒く見えますが，その上流部で，白っぽくなっているところがあります．この部分は，Landsat という光学系のセンサを持つ衛星で森林があることを示している地域です．台地にある森林は RADARSAT 衛星データでは比較的暗く見えますが，このように白くなっているのは，森林の下に水が来ている個所です．つまり，林床が冠水している事を示しています．このように森林の立地環境を見るためにも，この合成開口レーダーは使われています．



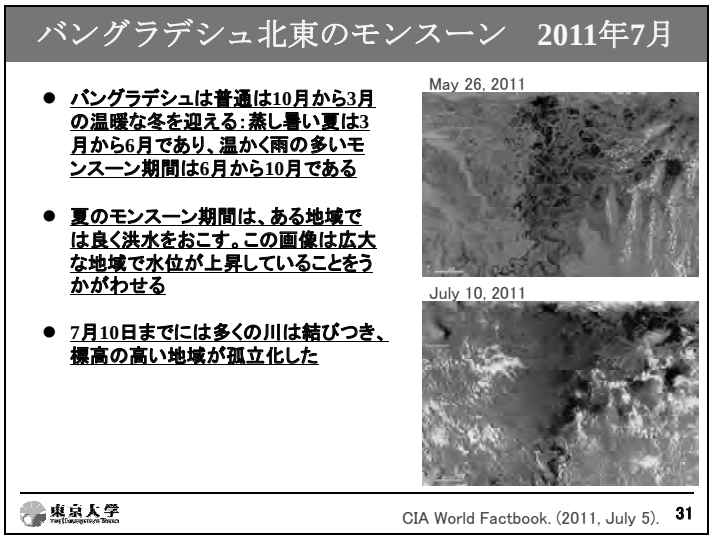
これはバングラデシュの洪水の様子を示したものです．右側の光学系センサ MODIS による観測ですと，雲があって地表はよく見えないですが，左側はアムサー（AMSE-E）と呼ばれる受動型のレーダー画像です．これによると，洪水地帯は白っぽく見えます．このデータを使うと，空間分解能は 10km と粗いですが，洪水の様子が毎日のように観測できます．

ここで今年の災害を少しご覧いただきたいと思います．東日本大震災があったものですから，ほかの国の災害はほとんど忘れられているというか，見られていないような状況ですが，世界各地で災害は頻発しています．

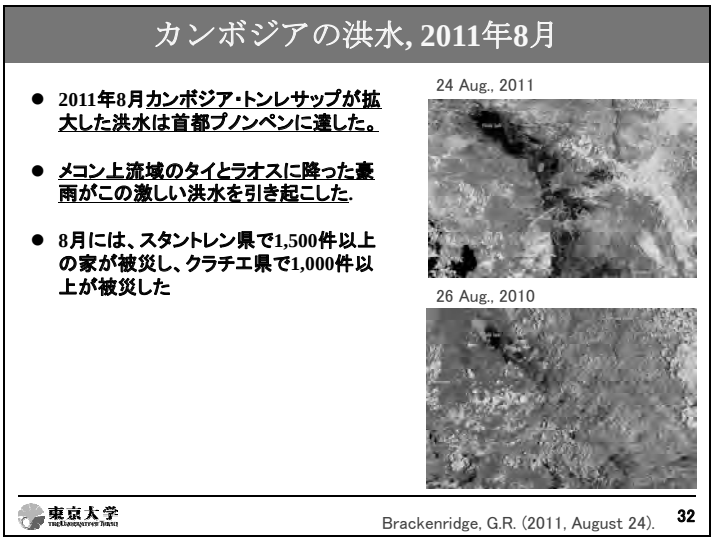
オーストラリアで 1 月に大洪水があって，内陸部まで洪水の被害がでました．



タイ南部は．今は乾燥が厳しくなっていますが，3 月には大豪雨が起こり，大きな土砂崩れが起きて，200 万人以上が影響を受けました．

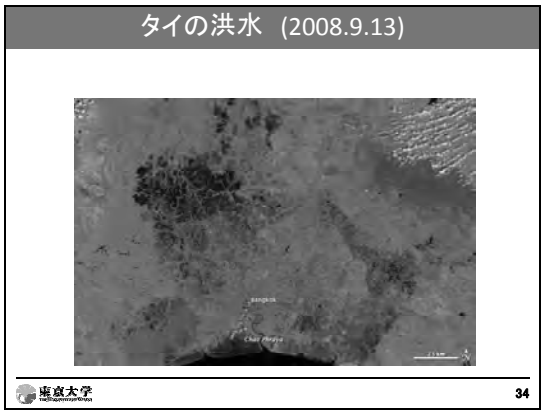


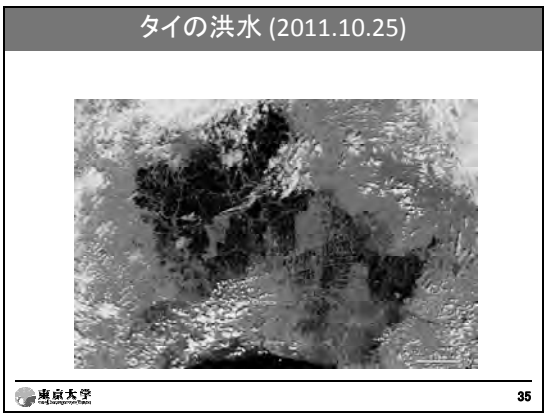
バングラデシュでは毎年のように洪水が起きます. 黒っぽく見えるところが洪水被災地です. 上が 5 月で，下が 7 月の状況です．水域がどんどん一緒になっていって，広い地域が水で覆われてしまいました．



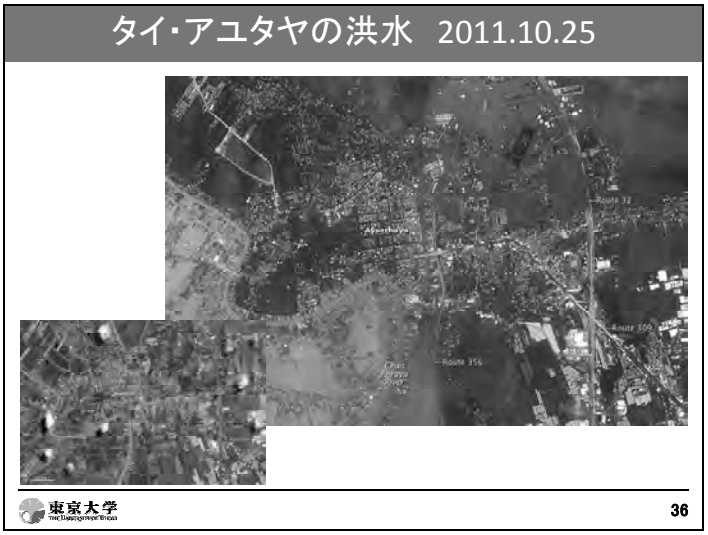
これはカンボジアの８月の様子です．ここにトンレサップ湖がありますが，洪水で水域が拡大して，首都プノンペンにまで及びました．これはカンボジアでの豪雨というよりは，メコン川を流れてきた水が逆流している状況です．タイやラオスなど，ほかの国で降った雨が，メコン川を通じてカンボジアに影響を及ぼしています.

９ 月にはパキスタンで洪水がありました．ここでは，都市部での被害は少ないのですが，最大の被害は排水の悪い田舎の方で起きています. このように, 原因となる雨が降ったところと, 実際に被害を受けているところが，違うことがあるのが洪水の特徴です.





これはタイで毎年のように起こる洪水の様子です．2008 年の図ですが，この黒っぽいところが洪水です．タイでは，洪水が上流から来ますと，水田や畑にどんどん水を逃がしていって，首都バンコクを守るという防災システムがあります．今年もタイで洪水が発生しました．これは 10 月 25 日の様子です．バンコクを洪水から守るように溝が切られ，周辺部分では水門を開けて，田畑に水がいくようにして，バンコクに水が行かないように，とにかく強制的に対応している地域が見られます．しかし，そういった対応が住民の反対によって困難になってきているのも，最近の傾向らしいです．



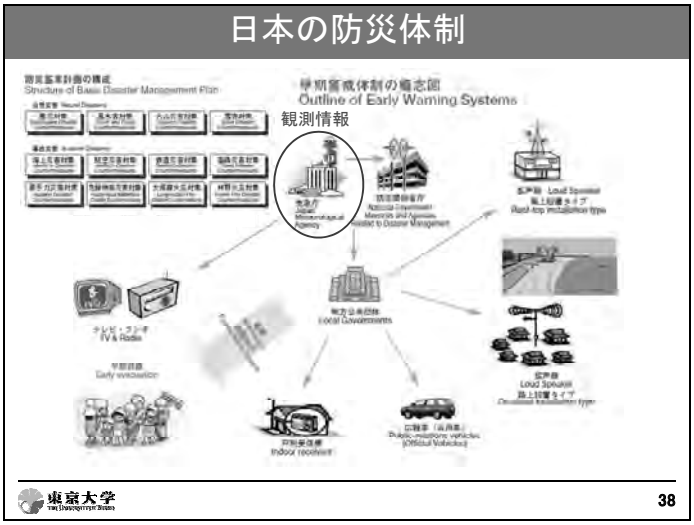
これは 10 月 25 日のアユタヤ地域です．例年は普通の田畑があるところですが，こちらの黒いところは全部，水ですので，アユタヤもこの画像に見られるように，冠水してきています．

このように，さまざまな画像で災害の様子が見られますが，地球観測データの実用化研究としては，災害が把握できればいいというわけではなくて，減災につながらなくてはいけません．そこで，こういったシステムを減災に活用する努力をしています．

これはタイにあります地理情報・宇宙技術開発庁 GISTDA という日本の宇宙開発機構 JAXA のような機関に展示されていたものです．こんな形で誰でも分かるように公開していました．この青いところが，RADARSAT 衛星という雲を透過する衛星のデータで，水が来ていることを示しています．そして，この赤いところが，近日中に洪水が行くと予測している地域です．

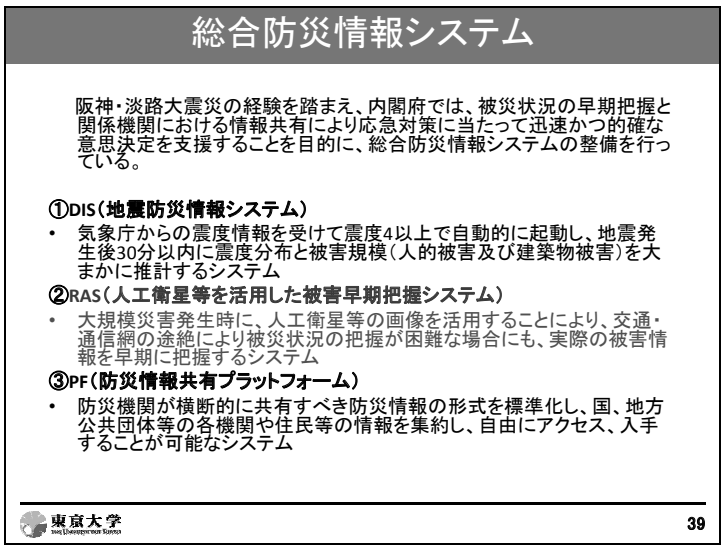
洪水が起きた個所を示す青い部分の図までは自動でできるのですが，次にどこが洪水被害を受けるかという予測になると，過去の履歴が大事になってきて，専門家が会議を開いて，予測図を作っていると状況でした．

これがウェブでも公開されているもので，誰でも見ることができます．

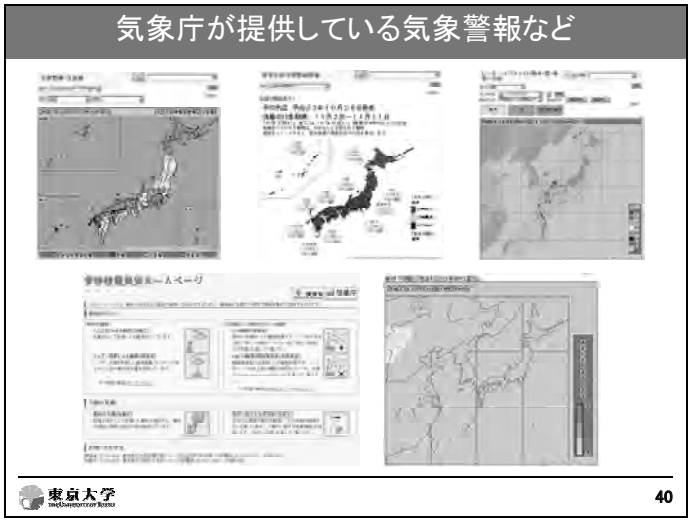


日本では，気象庁が気象衛星のデータを受信して，それを関係機関に配信することで，いろいろな災害対策に使われています．広域の環境関係の観測情報は，このように気象庁で得られたものが多くありますが,気象庁その他の関係機関に対して JAXA が直接的にデータを提供して

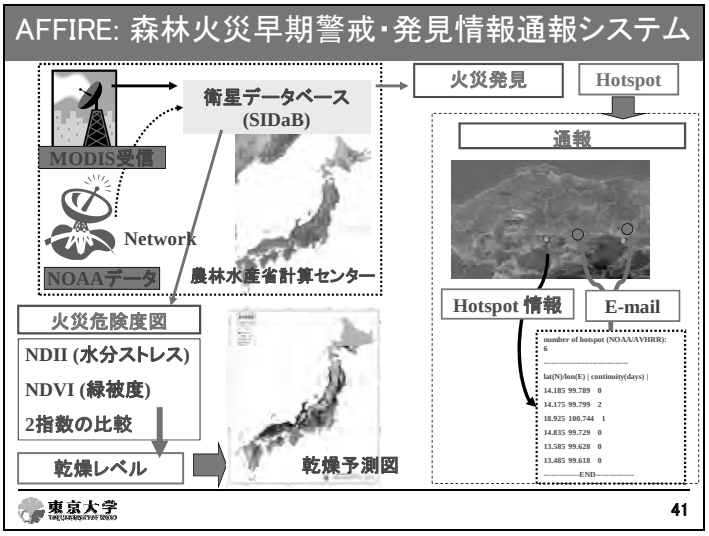
いる場合もあります．



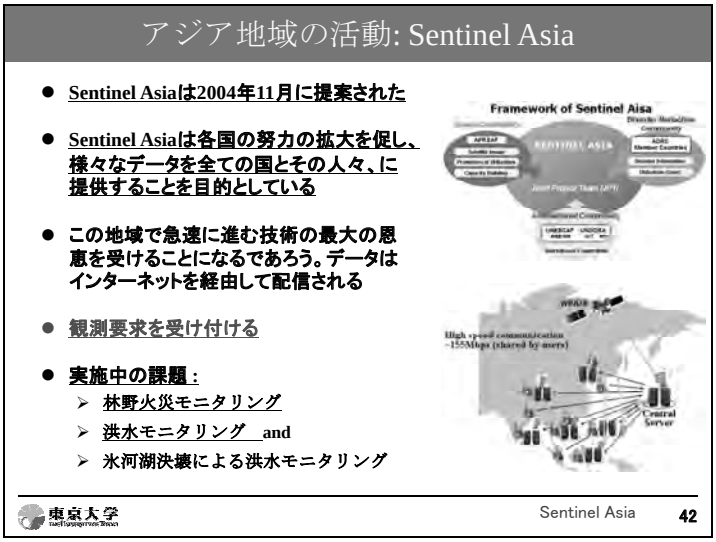
いずれにしても，日本の総合防災情報の取り組みでは，人工衛星等を活用した被害早期把握システム RAS が重点課題として考えられています．ただ，被害の早期把握ということはもちろん重要ですが，必要なのは災害の早期把握だけではなくて，予測でしょう．そういったことも含めて，情報提供されるべきだと思っています．



気象庁ではさまざまなサイトを作って，気象関係だけでなく，例えば黄砂の注意報などの情報をいろいろカバーしています．ですから，日本の気象災害における予想情報は，気象庁のサイトを見ればだいたい分かります．



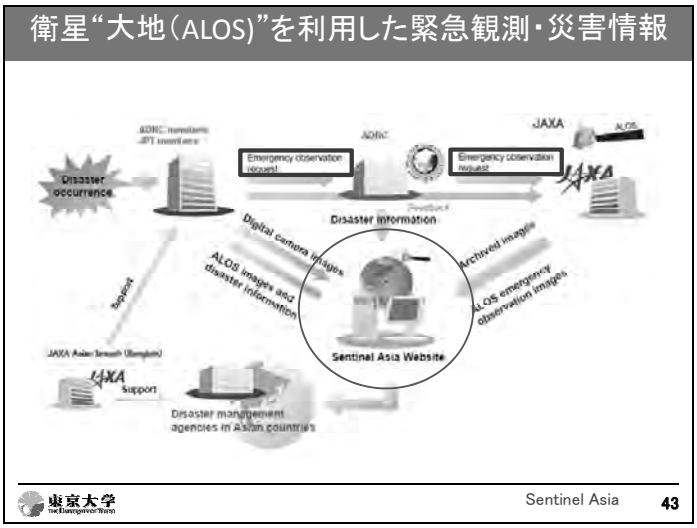
それに対して，森林を含む林野火災になりますと林野庁の管轄になりますので，農林水産省研究計算センターの MODIS 衛星受信システムを使って，火災の危険度を把握したり，検知した火災情報をメールや web を使ってただちに関係機関に通報するシステムを開発しました．気象関係以外での恒常的なリモートセンシングデータの利用は，日本ではこの林野火災分野だけでしょう．



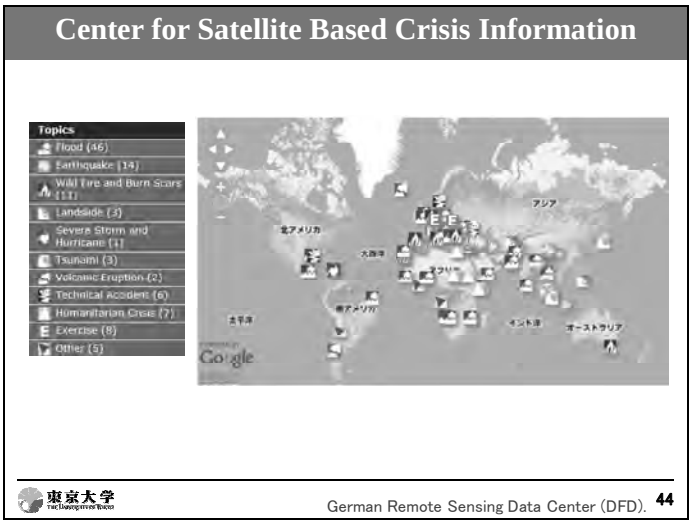
この図は日本の災害情報システムを示しています．日本は災害に対応するさまざまな技術を持っていますので，これを具体的に運用して日本の社会のみならず世界に貢献することが求められています．残念ながら，日本の ALOS（大地）衛星は運用を停止しましたが，これまでアジア地域での災害問題にも貢献してきました．

その活動の中では，センチネル・アジア（Sentinel Asia）の活動が特に有名かと思います．センチネル・アジアの特徴として，観測要求を受け付けるという点があげられます． センチネル・アジアに参加している国々は，災害が起きたら，センチネル・アジアに支援を要請します．

すると観測衛星を持っている国は，災害監視モードを設定して，得たデータを無償で提供します．



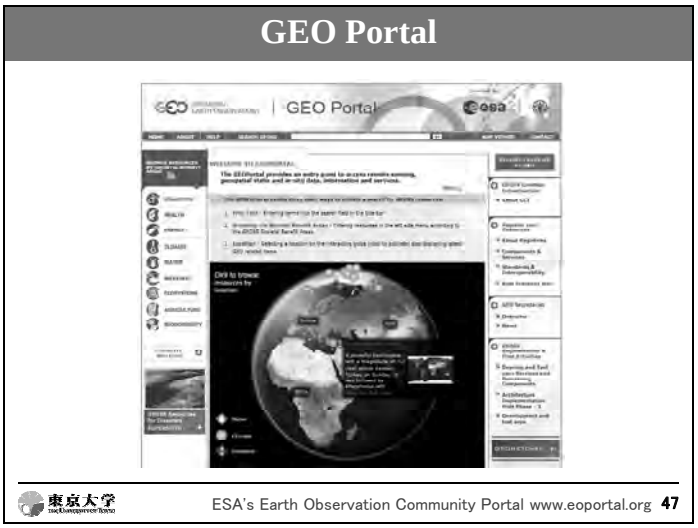
この活動の良いところはリクエストを受け付けるという点です． 得られたデータは，センチネル・アジアのウェブサイトからダウンロードして誰でも使えるようになります．



このような活動はアジア地域だけではありません．JAXA も参加している活動に，「衛星を利用した危機センターCenter for Satellite Based Crisis」があります．ドイツがこのサイトを立ち上げていて，洪水，地震，林野火災，土壌崩壊といった情報を，一元的に管理するシステムが作られています．このように，災害に関する協調活動が世界で活発に行われていることを，記憶していただいたらありがたいです．

例えばこのEarth Alertシステムを使って,個人でもさまざまなデータをダウンロードして,自分なりに加工して，災害を確認することもできます.

さらに幾つかの取り組みの例をご覧いただきます．この「広域災害予報 Global Disaster Alert」は，ヨーロッパで協力して作っているシステムの一つです.



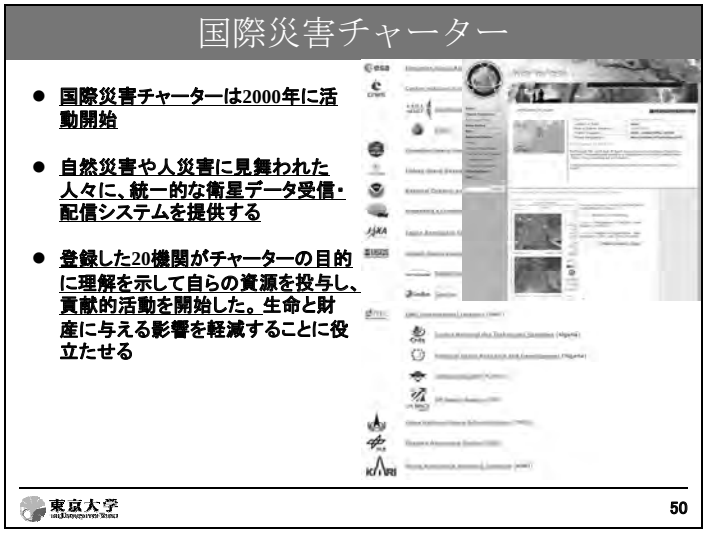
これは「欧州宇宙機関 ESA」で運用しているサイトです．「地球観測グループ GEO」という衛星を利用した地球観測グループもポータルサイトで災害，健康，エネルギー，気象，気候，水，生態系，生物多様性，農業分野などへの情報を発信しています．

Google も「グーグル危機対応 Google Crisis Response」で迅速に情報を提供しています．東日本大震災に関連する情報も早い段階で提供が開始されました．

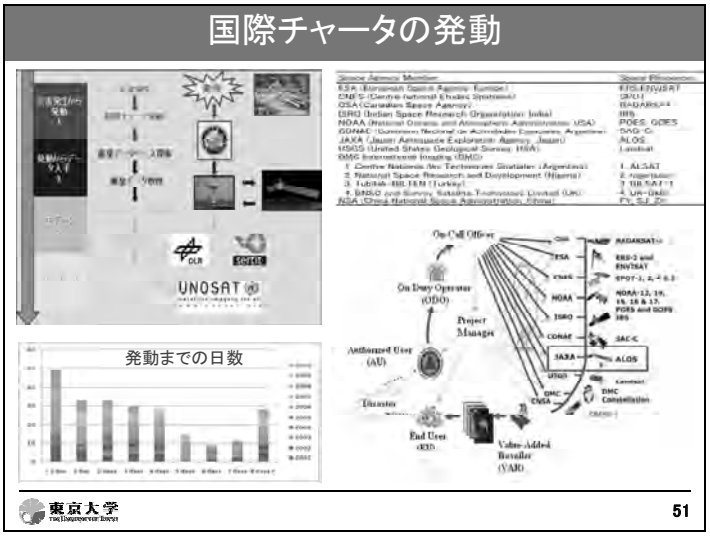
さらに「米国地理院 USGS」の自然災害支援システムを紹介します．ここも全世界の災害データを集めていますが，その量，質は最大級です．

さて，いくつもの活動を紹介しましたが，疑問がわいてきませんでしたでしょうか．なぜ世界でこんなにさまざまなサイトが必要なのでしょう．私が見る限りでは，衛星所有機関は自分たちの運用する衛星を中心にして，活動をアピールしているように思われます．そこに若干，違和感があります．本当の意味で世界の災害に対応した協調システムであれば，どこにデータがあろうと，ひとつの窓口から全て確認できるシステムがあればいいではないかと思います．というよりも，災害時にあちこちのサイトを確認するのは無駄も多くなりますので，統合化するべきであろうと思います．私はそういうことができるような，ワンストップサイトが作られることを期待しています．しかし，そのようなシステムを実際に作って運用するのはなかなか難しそうです．ですから，どうしてもさらに細かく知りたい．あるいはできるだけ情報を仕入れたい場合は，今ご覧いただいたようなサイトを，各自でそれぞれを見なければいけません．

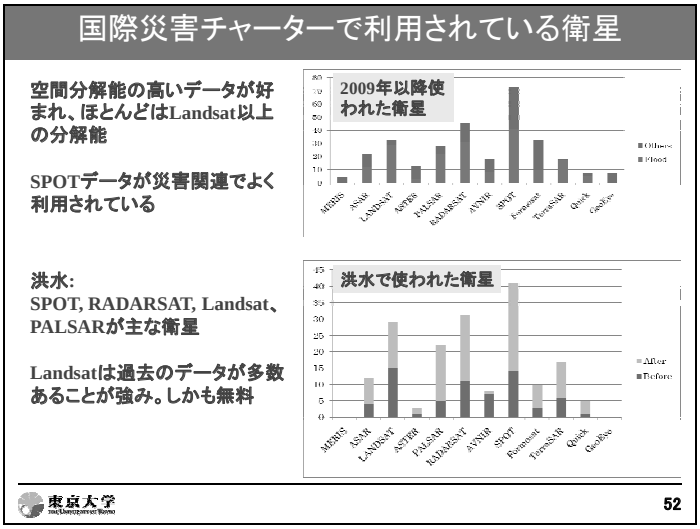
東日本大震災では，防災科学研究所がそのような役割を担い，様々な情報サイトの連携をもたらしたと感じています．

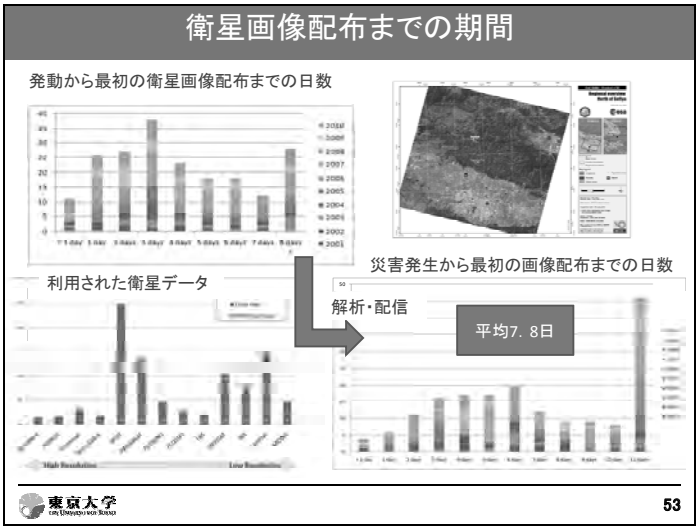


さて，さらに紹介したいのは 2000 年に活動を開始した「国際災害チャーター」です．全世界の衛星を持っている機関で形成されています．災害に見舞われた国は衛星を持っているとは限りませんし，持っていたとしても，そこの受信，解析システムが壊れたら，その国では何も解決できません．それを補うために，今は全世界で 20 機関が国際災害チャーターに参加しています．

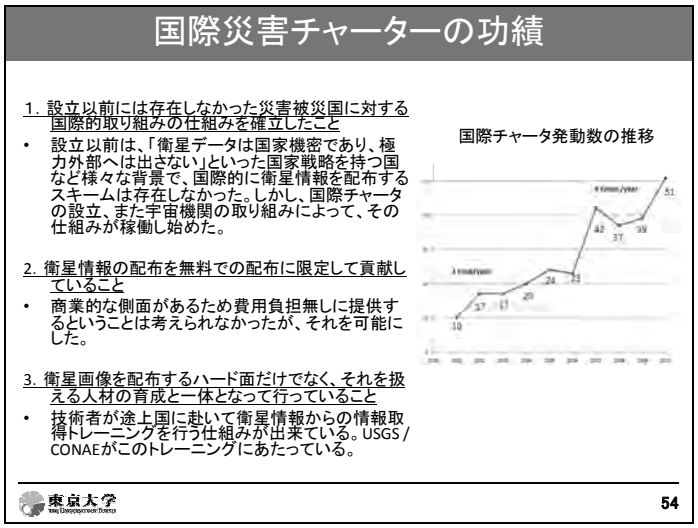


災害が起きると，参画機関がチャーターの発動を行います．日本の場合は JAXA が発動申請を行う機関ですので，東日本大震災の時は，3 月 11 日にチャーター発動要請を出しました．その結果，海外の衛星機関から多くの衛星データなどが送られてきました．また，いくつかは web のサイトでも確認できるようになりました．





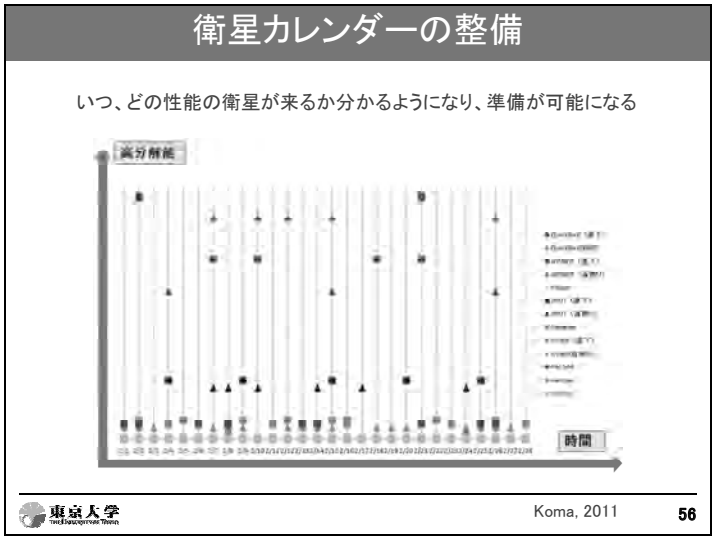
国際災害チャーターのいい点は，このような災害マップを作ってくれることです． 2000 年以降の災害対応を見てみますと，災害が起きてから 3 日ぐらいたってから「情報が欲しい」というチャーターの発動申請がなされている場合が多いようです．そして，衛星データを受信して，災害から 1 週間ぐらいたってから対象国に情報提供されるケースが多いようです．災害から 1 週間経った情報では人の生命を救うには役に立たないかもしれません．そこが国際災害チャーターの限界のひとつだと思います．



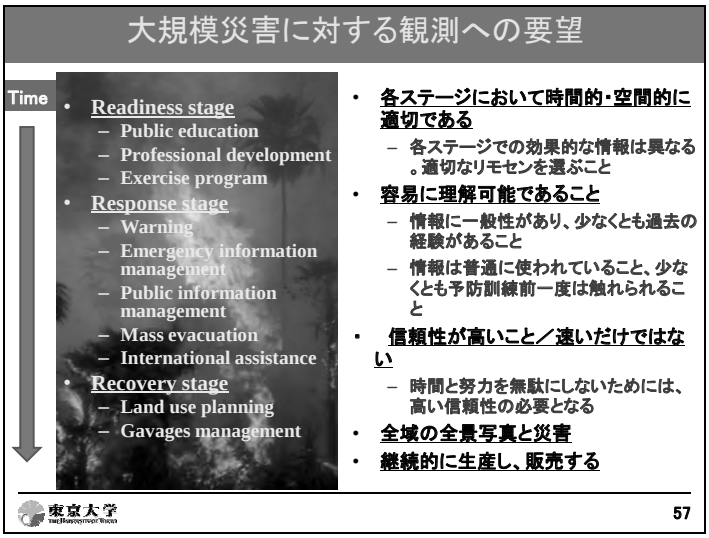
国際災害チャーターの枠組みができる以前は，それぞれの機関でばらばらに情報を提供していましたが，それが一元化されました．2000 年以降，次々とチャーターが災害に対して発動されてきました，提供された衛星画像は処理済みで無料です．しかも，最近は利用者の教育までしてくれる体制が確立されてきました．

これは国際災害チャーターで提供された一つの例で，東日本大震災の津波被害に対して提供されたものです．かなり大きな縮尺で，空間分解能が 50cm の衛星写真も提供されました．しかし，災害現場に近い市町村に行って「こういうものが提供されているけれども，使っていますか」と訊きますと，私の知る限りでは災害担当者にその存在も知られていませんでした．一つの大きな理由は，日本語ではなくて英語だったこともあります（笑）．国際災害チャーターという世界の協力体制ができたと言いました，結局，誰のために，何のために作っているのか，よく分からないということが，残念ながら指摘できる状況です．ここでは問題を指摘したいわけではないのですけれども，これが実態です．

さらに，それぞれが勝手に，縮尺もばらばらに衛星地図などを提供しています．ですから，国や自治体側で，いつ，どんな情報が来るのか分かっていたら，あるいは観測をリクエストできたら使っていたかもしれません．



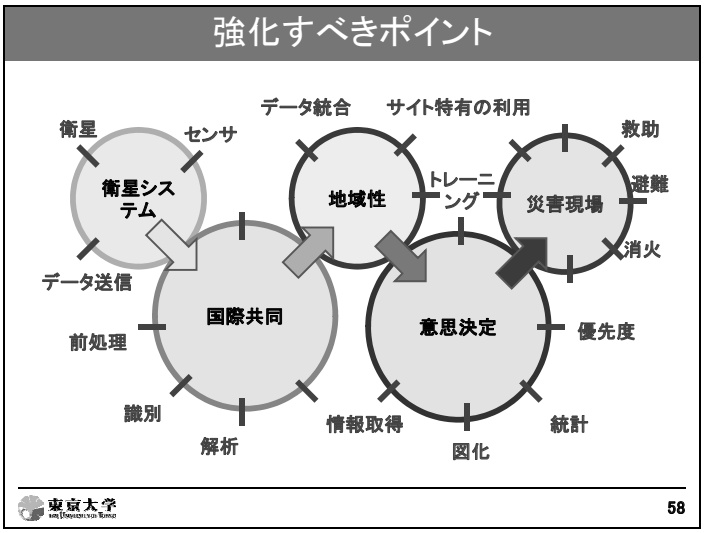
リクエストのためには，例えば何日後に，どのような性能の衛星で観測できるのか，分かりやすくカレンダーとなっている必要があります．そうすれば，具体的に「そのデータをください」とできるわけですので，こういった衛星カレンダーも，実利用のためには必要だと思います．



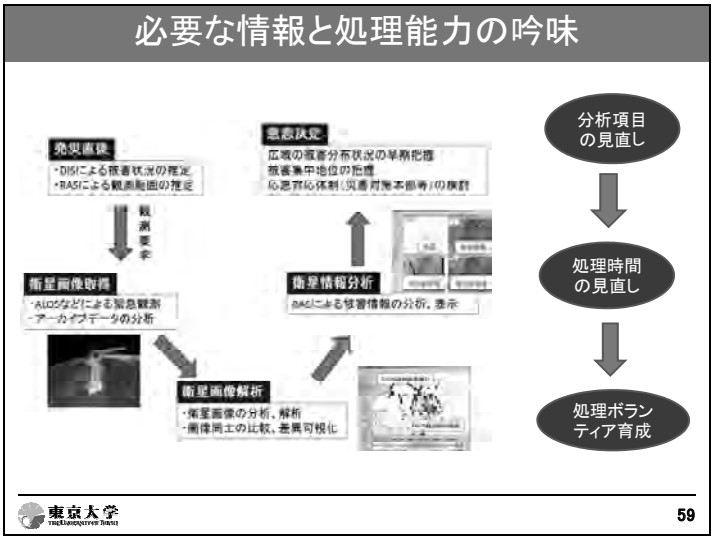
地球規模の環境変動がもたらす大規模な自然災害の対応に必要とされる情報は，先ほど言いましたように，災害前，災害中，災害後などのステージで，時間的，空間的に異なります．各ステージで，必要な情報が，迅速に得られるシステムが必要でしょう．衛星データは，容易に理解できる必要もあります．災害が起きてから勉強されても遅すぎます．例えば，広域災害の

防災訓練の中でも衛星情報を取り入れることが必要ではないかと思っています．

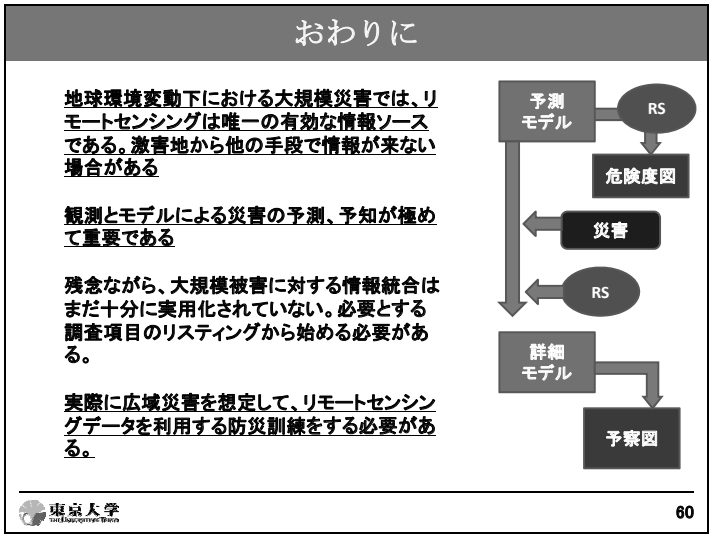
さらに，衛星データから信頼性が高い情報を提供することに心がける必要があります．衛星データは迅速に広域の情報が得られることが利点ですが，迅速さだけでは駄目で，やはり信頼性の高い情報をださなければなりません．特に広域災害の場合，現場に行ってみたら違うと，労力の大きな無駄になります．ですから，広域でも迅速かつ信頼性の高い情報が求められます．ぜいたくな要求のようですが，それに応えることができる可能性が極めて高いのが現在のリモートセンシング技術です．



今後強化すべき点は，地域に密着した，災害現場での利用だと思っています．災害の各ステージで必要とするものは地域によっても異なります．また，その災害ステージで必要とされる対応とその後の変化を敏感に感じるのはその地域であり，災害現場です．ですから，災害現場でのリモートセンシング技術の利用を促進するための研究をもっと強めていかなければいけないと思っています．



これまでの衛星データに関する研究では，さまざまな利用可能性が報告されてきました．それに対しても，広域災害で対応すべき項目の確定，処理時間，処理体制，特にデータ処理ボランティアの活用など，さまざまな見直しが必要でしょう．東日本大震災は，環境災害ではありませんでしたが，広域の津波災害に対して非常に膨大な衛星データが入ってきて，対象となる自治体の数も多く，必要とされる情報に地域差もあり，衛星データを処理・提供する体制が実際にはなかったということが指摘できます．ですから大規模な広域災害に対応できる処理体制の拡充や育成が極めて重要だと思います．



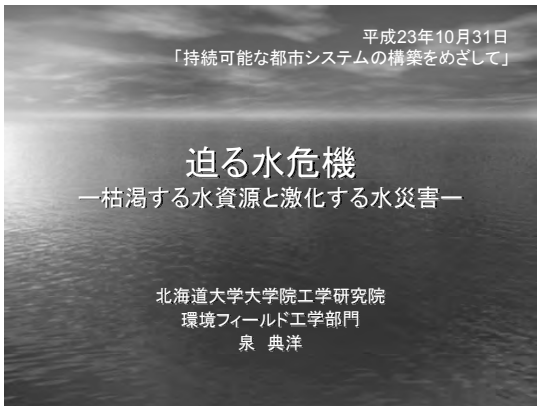
最後になりますが，地球環境変動下における大規模災害では，リモートセンシングが唯一の有効な情報源です．東日本大震災の津波災害は，大規模な災害が突然発生する場合，激害地の情報取得はリモートセンシングが唯一の手段であることが再確認されました．そういった時に対応できる体制が本当に必要だと痛感しています．

また，気象災害では観測とモデルによる予測・予知が極めて重要です．衛星による地球観測情報を災害分野で実用化するには，先ほども少し述べましたが，防災訓練や学校での防災教育の中でも，利用されるようにすることが必要だと思います．

以上，少し長い話になりましたが，リモートセンシングで地球の自然環境と災害を広域に見る目を養うことが，災害の軽減に役立つと信じております．ご静聴どうもありがとうございました．

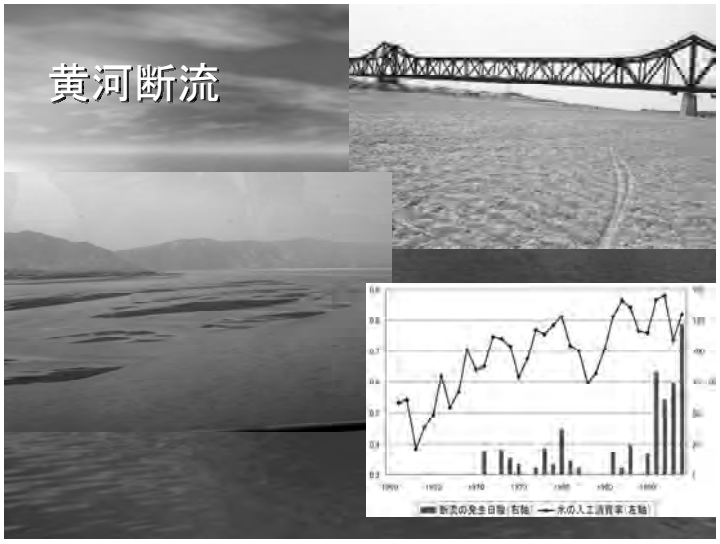
3. 迫る水危機　ー枯渇する水資源と激化する水災害

泉　典洋（北海道大学大学院工学研究院環境フィールド工学部門・教授）



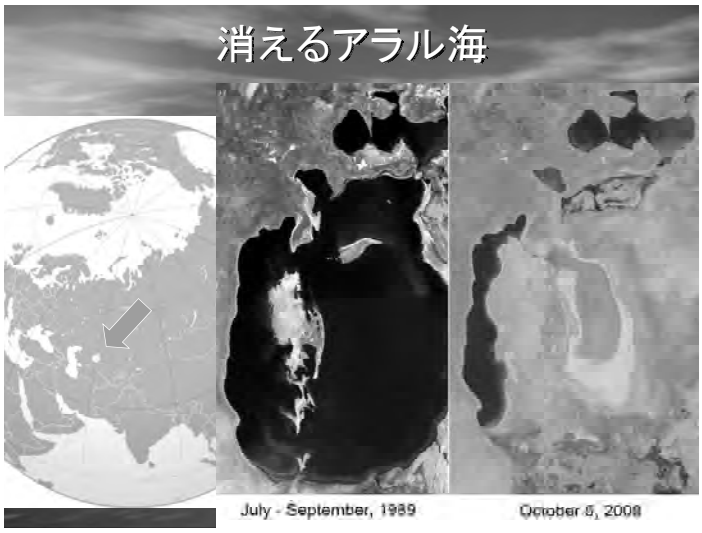
私の専門は土砂水理学で，川の中にできる河床波や砂州，蛇行といったことを主に研究しています．今からお話する内容は，同じ水に関わる問題として日ごろ興味を持って資料を集めたり学生に講義したりしている内容ですが，私自身解決策を見いだせないでいる問題で，今日は皆さんには問題提起のようなつもりでお話しするつもりです．少しキャッチーなタイトルを付けすぎてしまった感じがしていますが，そういうつもりで聞いてください．

まず，タイトルにあるように，今日は二つの話，「枯渇する水資源」と「激化する水災害」の二つについてお話しします．まず，最初に枯渇する水資源ということで，実際の例を取り上げてお話ししたいと思います．



これは黄河の写真です．このような状態は黄河断流と呼ばれています．中国の経済発展のおかげで水が必要になりました．工業や農業の発展によって相当の水をこの黄河から取水しました．取水した水を黄河に戻さなかったために，黄河の水が海に行くに従ってだんだん少なくなり，最終的にはこのように水がなくなってしまいました．このような現象は断流と呼ばれていて 1990 年代には頻繁に起こりました．2000 年代になって中国政府が非常に厳しい規制をかけるようになったため，最近は起こらなくなりました．見て分かりますように，黄河は名前のとおり黄色い砂をたくさん流す川です．これは余談ですが，言ってみれば黄河は，われわれ東洋，東アジアの治水の起源です．黄河文明は実は治水の文明だったのです．黄河を制御するところから文明が始まりました．黄河は，黄土高原から大量の土砂を運んできますから非常に洪水を起こしやすい川です．この黄河を制御することが文明を発達させました．日本も含めて，南アジアから東南アジア，東アジアにかけてのモンスーン地帯は，共通の問題を持っています．先ほど，アジアでは水災害が頻発しているというお話がありましたが，それは一つには自然や社会環境が原因です．われわれは米を作って食べる民族です．モンスーン地帯の高温多湿な気候が米作を可能にしています．しかし米は低平地にしかできません．米はたくさんの人口を支えることができますから，非常に多くの人々が低平地に暮らすことになります．そうすると，自然とその低平地には洪水がやってきて，人々はその洪水の被害を受けます．そして，それを克服しなければ生きていけないというのが，アジアモンスーン地帯に住む我々の宿命でした．ただし，今日前半にお話しするのは水が多すぎるのではなくて水が枯渇しているという話です．

インドでも同様の水の枯渇が起きています．インドでは，1960 年代ぐらいから緑の革命が起きて，農業生産性が飛躍的に増大します．たくさんの農産物ができるようになり，人口も増えます．インドの人口は今 12 億人ですが，それだけ人口が増えた原因は，農業生産性の飛躍的な増大でした．それを可能にしたのが緑の革命です．彼らはそのために地下水を大量に使いました．この写真は人工衛星から地下水位をリモートセンシングで調べることが可能となる技術を使って撮られた写真です．この赤い部分は，地下水位が 12m ぐらい下がっているところです．



もう一つ，これは旧ソビエトのタジキスタンです．アラル海がカスピ海の隣にあります．これが 1989 年のアラル海です．元々は北海道よりもちょっと小さいぐらいの湖です．塩水湖なのですが，このアラル海には二つの川が注いでいました．シルダリヤ川とアムダリヤ川です．ソビエトは，この川の水を使って大規模な綿花の栽培を始めます．この周辺は砂漠です．ですから，水がふんだんにあるアラル海の周辺はオアシスでした．砂漠の中にこれだけたくさんの水

があると，砂漠の中で一つの水循環サイクルを作ります．蒸発した水がまた湖に戻ってくる．それによって多様な生き物がこの水辺に集まるといった良好な水環境を作っていたのです．ところが，綿花の栽培のために川の水を砂漠に引いて，そこに水をまきます．そうすると，その水が砂漠に浸みこんだり蒸発したりしてしまって二度とこの湖に戻ってきません．いったん湖の水が減っていくと，その周辺の水の環境もどんどん変化します．これが 2008 年のアラル海ですが，既にこれだけの面積に減ってしまいました．いったんこうやって一つの大きい水の体積が広い範囲に失われてしまうと二度と戻ってきません．

もう一つ，これは北米のグレートプレーンの写真です．何でこんなにたくさんの丸があるのかご存じですか．これは人工衛星写真ですから相当大きな丸です．実は，このような形ができたのはセンターピボット灌漑と言われる灌漑方法のせいです．こういう長い車輪のついたものが，この円の中心から地下水をくみ上げて，それをスプリンクラーでまきながら回転していきます．ですから，水のまかれているところだけが緑になって，円がたくさんできます．ここは北米の穀倉地帯です．たくさんの穀物が生産されます．ところが，そのために必要なほとんどの水が，地下水をくみ上げて灌漑することでまかなわれています．この辺は降水量が少ないところです．年間降水量が大体 600 ㎜ 程度です．したがって穀物を豊富に育てるための水が根本的に不足しているところなのです．

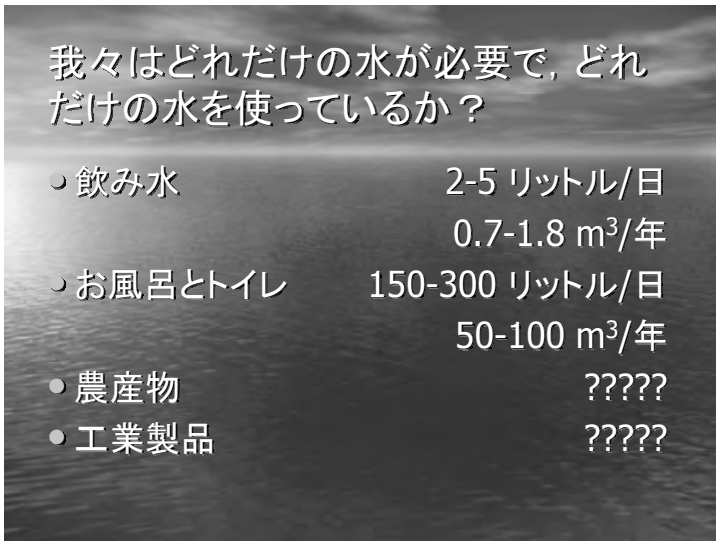
ここにはオガララ帯水層という豊富な地下水層がありますが，これは数万年かかってロッキー山脈から地下深くに浸透してたまった水です. したがってこの水は簡単には元に戻りません. もともと降水量も少ないところですから，一旦くみ上げた水が深い帯水層に戻るためには長い年月が必要です．それで水位がどんどん減っていきました．今ではこのオガララ帯水層が枯渇してしまわないように，アメリカ政府も対策を行っているところです.

このように，いろいろなところで水の枯渇が起こっています．われわれの経済活動が盛んになって，大量の水が一度に必要になって，しかも大量の水を一度に使う技術を持ったことで，いろいろなところで水が足りなくなっているのです.

その背景にはどんなことがあるのかを，この地球上の水循環の図で見てみましょう．ご存じのとおり，地球は水の惑星といわれるように，大量の水が海にあります．海の水はこれです.

ちょっと数字が分かりにくいのですけれども，単位が 10^3km^3 です．10^3km^3 と言ってもイメージがつかめないと思いますが，1km×1km×1km の立方体が 1000 個集まった量です．それがさらに 133 万 8000 集まったのが海の水の体積です．それが蒸発して，海と陸地に降りそそぎます．もちろん湖や地下水になるものもありますけれども，川の流れとして海にまた戻ってきます．

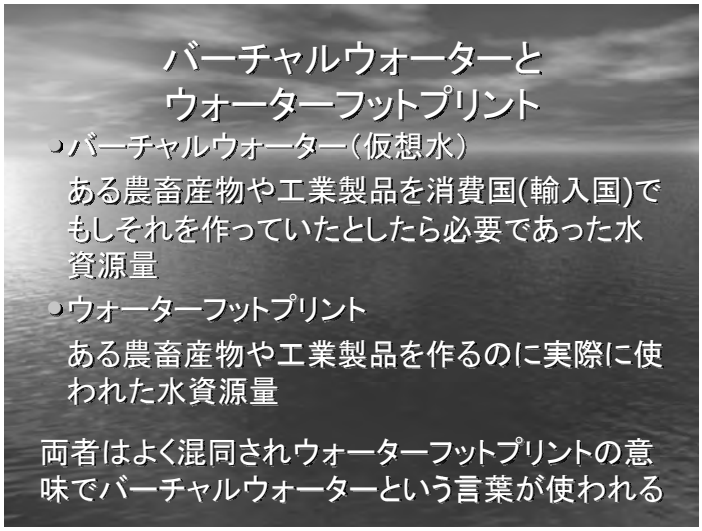
この中で，われわれが使って良い水は，どれだけの水か分かりますか．先ほどお話ししたように，地下水の水を使っていると，だんだん減っていきます．湖の水も，あまり使いすぎると減ってしまって，二度と戻らなくなってしまいます．だから，こういうものはサステナブルに使うことができません．われわれがサステナブルに使えるのは流れてくる川の水だけです．川の水はフローであり，毎年大体同じような量を見込めます．この量だけは，使っても海へ戻してやれば良い水です．この量は $44.5\times10^3km^3$ です．



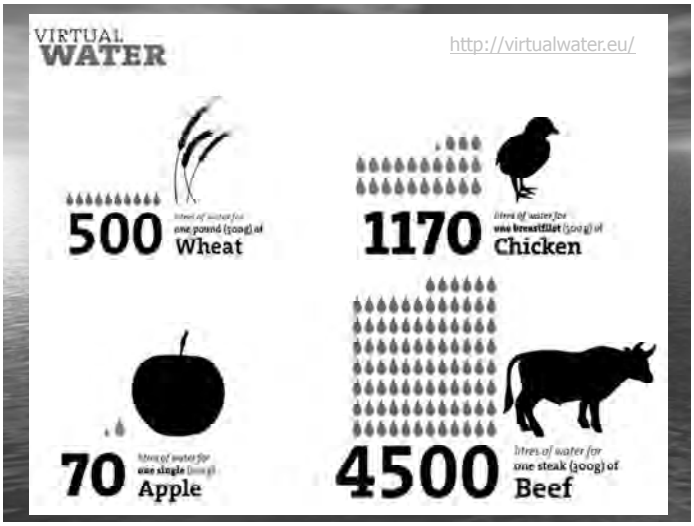
われわれはどれだけの水が必要で，どれだけの水を使っているのかをちょっと試算してみます．飲み水に使う量は，普通の人で大体 2L，たくさん飲む人は 5L ぐらい，年間にすると 1～2t の間です．

お風呂とトイレは 150～300L．これはかなり人にもよります．風呂に滅多に入らない人はこれだけ使わないでしょうし，トイレにもあまり行かない人はこれほど使わないかもしれません．大体，アメリカやヨーロッパの西洋人（日本人はこれより若干少ないといわれていますが）で年間 50～100t ぐらいの水を使っています．

われわれが水を必要とするのは，これだけではありません．農産物の生産には相当の水を使っていますし，工業製品に至っては水をどれだけ使っているのか，おそらくよく分からないという方が多いでしょう．



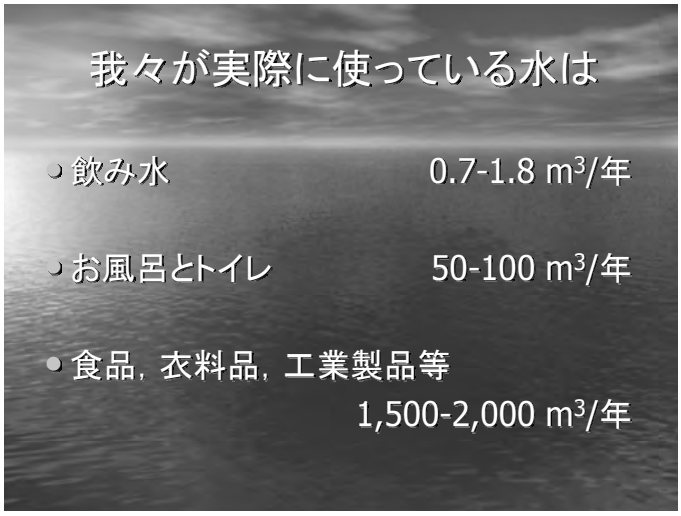
どれだけ使っているのかを，最近はウォーターフットプリントという言葉を使って表わしています．最近，バーチャルウォーターという似たような概念がありますが，厳密には二つはちょっと意味が違います．バーチャルウォーターは「仮想水」で，ある畜産物や工業製品をもし消費国（輸入国）で作っていたとしたら必要であった水資源量です．ウォーターフットプリントは，ある農畜産物や工業製品を作るのに，実際に使われた水資源量です．バーチャルウォーターは，消費国で作ったらどれだけ水が必要だったかという量で，ウォーターフットプリントは実際にどれだけ必要だったかという量です．ただ，両者はよく混同されていて，ウォーターフットプリントの意味で，バーチャルウォーターという言葉が使われることが多々あります．今日はこの二つの言葉を混同して使います．



これはウェブサイトから持ってきた図です．この図で言うバーチャルウォーターは，ウォーターフットプリントのことです．例えば麦 500g を作るのに 500L，チキン 300g を作るのに 1170L，

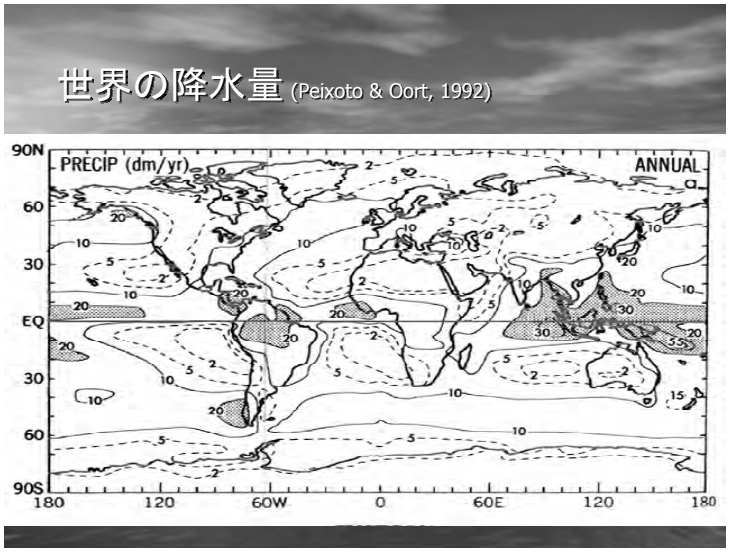
300g の牛肉，ステーキ 1 人前ぐらいには 4500L の水が使われます．リンゴが 100g で 70L です．ここには工業製品が出てきませんでしたが，このように農産物や工業製品の生産のために，知らないところでたくさんの水が使われていて，われわれはそれを使って生活しています．

それが製品として輸出されたり輸入されたりします．国際間で取引されます．ですから，そういう工業製品や農産物の輸出入は，実は目に見えない水の国際間取引でもあるわけです．この図は，その取引の量を表しています．インポートが輸入しているということで，この部分が濃い赤になればなるほど，たくさん水を輸入していることになります．中国や日本は，非常にたくさんの水を輸入していることになります．それから，この緑色が濃くなっていくとエクスポート，水の輸出が増えることになります．合衆国やオーストラリアは肉や農産物を輸出することで，実は水を輸出しているのと同じことになります．

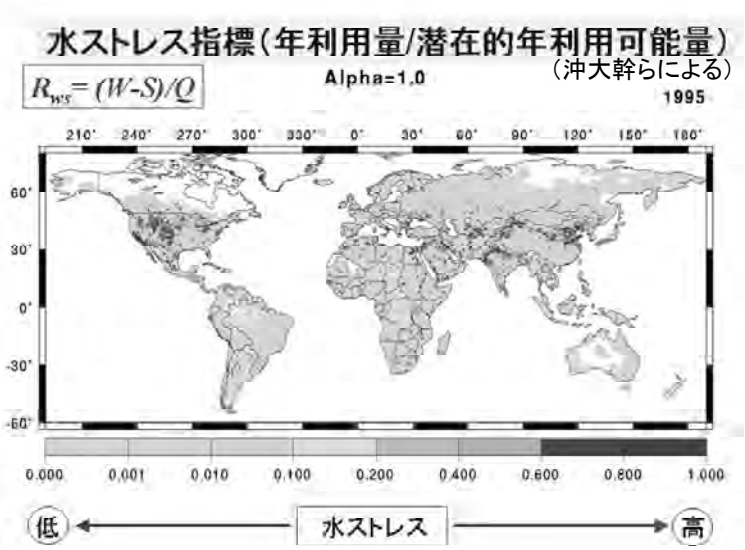


そういったものまで考慮すると，われわれが実際に使っている水はどのぐらいでしょうか．先ほど言ったように，飲み水が年間 1t か 2t．お風呂とトイレが 50～100t ぐらいです．それに対して食品，衣料品，工業製品等を全部足すと，年間 1500～2000t になります．これは先進国の話であり，欧米や日本では，このぐらいのオーダーの水を年間一人当たり使っていることになります．

では，われわれが使える水はどれだけあるのか？先ほどサステナブルに使える水は川の水だけだという話をしましたが，年間の河川総流量が全世界でどのぐらいかというと，先ほどお話ししたように，45.5×10^3km^3 です．ただし現在の技術では，われわれはこの量の 20%ぐらいしか使えません．それが現在の技術の限界です．20%しか使えなかったら，年間の利用可能水は 9×10^3km^3 になります．しかも，これを現在の人口である 60 億ちょっと（この間，70 億人を超えましたがここでは少々古い数字を使っています）で割ると大体 1400t/年/人となります．先ほどお話ししたように，先進国の場合，1500～2000t 必要なのに，一人当たりもう既に 1400t ぐらいしか使えないというのが世界の現実です．もちろん日本人や欧米人の場合は 1500～2000t 使っているけれども，そこまで使えないような人たちが世界にはたくさんいるということです．

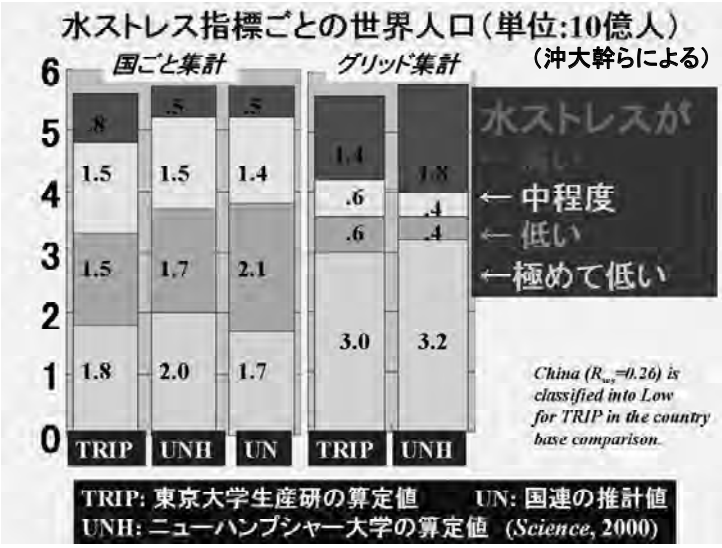


水は世界中で偏って存在しています．川の水は降水量が基になっていますから，たくさん雨が降るところは，川にたくさんの水が流れて，たくさんの水を使えるはずです．赤道に近い国々は，大体 20 デシメートルですから，2000mm ぐらい雨が降ります．日本も 1000～2000mm ぐらいです．北海道で 1000mm，西日本で 2000mm．ヨーロッパでも大体 500～1000mm ぐらい．このように地域によって水の存在量が偏っています．

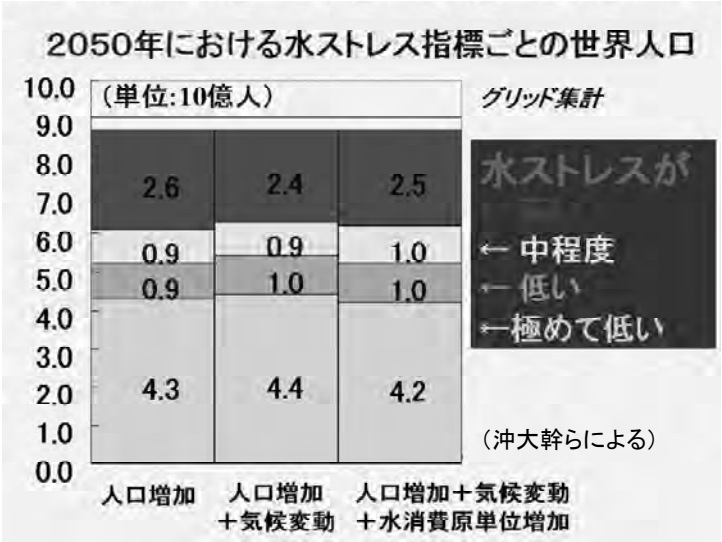


そのおかげで，使える水と実際に使える水の偏りも存在しています．これは水ストレス指標といって，東大生産研の沖大幹氏が算出した値です．彼が計算した世界中での水の利用量を，潜在的年利用可能量で割ったものです．つまりどれだけ使えるかという量で，実際に使っている量を割った値です．1 に近くなればなるほど，ぎりぎりまで使っていることになります．ゼロに近いと余裕があるということで，利用限界量までまだまだ使っていないということです．

赤いところが水ストレスの高いところです．赤いところは，中国や，先ほどお見せした地下水が枯渇しているインド，アメリカです．こういったところでは，ぎりぎりまで水を使って，水ストレスが高い状態になっています．



これは水ストレス指標ごとに世界の人口を推計したものです．これも大体 2000 年ごろの話ですから，大体 60 億ぐらいの人口で計算してあります．赤い部分の 0.8 というのは 8 億人です．これは算定した機関によって，若干結果が異なっていますが，大体，現在水ストレスの非常に高い人が 5 億から 8 億ぐらい．中程度の人が 1.5 億ぐらい．1.5 億～2 億人ぐらいが低い．極めて低いのが大体 2 億人弱．そういった意味です．



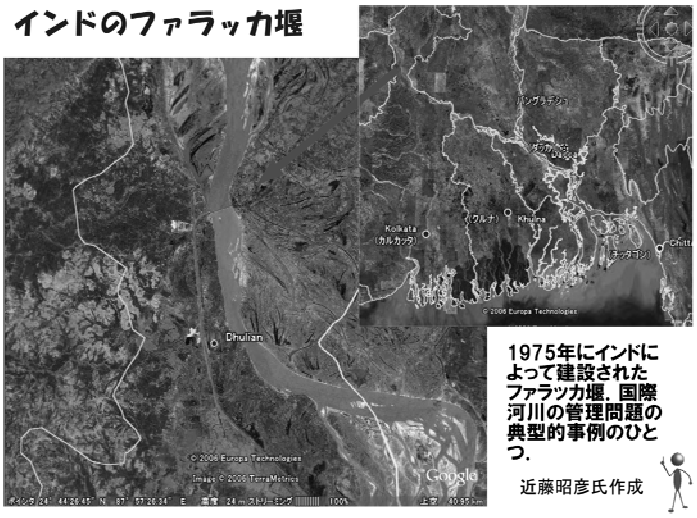
2050 年には，人口は 90 億人になるといわれていますけれども，そのとき，その比率がどのぐらいになっているかというのがこれです．人口増加だけを考慮に入れて水ストレスを考えて

みると，26 億人が非常に高い水ストレスにさらされています．ここに「人口増加＋気候変動」と書いてあります．先ほどのお話にもあったように，気候変動によって水循環も変化してきています. 彼の試算によれば, 気候変動はどうも水ストレスを若干和らげる方向に働くようです. 一番内側が，人口増加＋気候変動＋水消費原単位増加を考慮したものです．この場合，25 億人の人たちが，非常に水の足りないシビアな状況に置かれると予測されています.

世界中では，いろいろなところで水紛争が起きています．水を求めて，国同士が水の取り合いをしている状況です．先ほどお話ししたアラル海，ガンジス川，ナイル川，パラナ川，エクアドル政府の水資源, コロラド川(これはメキシコとの水の取り合いです), それからドナウ川, ボスニア，ヨルダン川，そういったところで水紛争が起きています.

その中で，二つほど例を取り上げます．これはイラクとトルコ，シリアの地図です．ここを

流れている川に，チグリス川とユーフラテス川があります．ここはいわゆる最古の古代文明発祥の地です．バグダッドはイラクの首都で，千夜一夜物語の発祥の地でもあります．このチグリス川，ユーフラテス川はトルコに水源があります．トルコは，このユーフラテス川の上流にアタクルチュダムという巨大なダムを造りました.ここでトルコが取水をして水を確保します．そうすると，下流のユーフラテス川は水が不足します．シリアやイラクはとても困ります．これは非常に難しい問題で，現在紛争になっているところです．



それからもう一つ有名な例が，インドのファラッカ堰です．1975 年にインドに建設された堰です．これはバングラデシュとインドの国境付近の地図です．バングラデシュは山のない国です．そもそも，独立するとき，すなわちパキスタンとインドが分かれるときに，東パキスタンだったバングラデシュは，山は要らないと言ったのです．農業ができるのは平地だから平地だけあればいいというので，ちょうど山の部分を切り取ってバングラデシュという国ができたのです．これは痛恨の極みです．山がないおかげで，バングラデシュは非常に苦労しています．ファラッカ堰の場合ですが，ガンジス川はインド側からバングラデシュに流れています．その国境の手前のところで堰を造っています．これでガンジス川の水は減って，ベンガル湾に流れ込む川の水量が減ってしまった．塩水が遡上し，農業に相当の被害が出ました．それから，山のこちら側はインドのアッサム地方です．ここにブラマプトラ（ジャムナ）川という非常に大きな川があるのですが，この川はヒマラヤ山脈を縦断する唯一の川で，アッサム地方を流れてきます．この川も，インド領でたくさんのダムが造られてしまって，バングラデシュ内でのジャムナ川の流量が減っています．こちらにメグナ川があり，メグナ川の上流もインドです．こちら側にはミャンマーがあります．こちらからバングラデシュに流れ込む川の上流はミャンマ

ーですから,ミャンマーがダムを造っても,バングラデシュは水を使えなくなってしまいます.

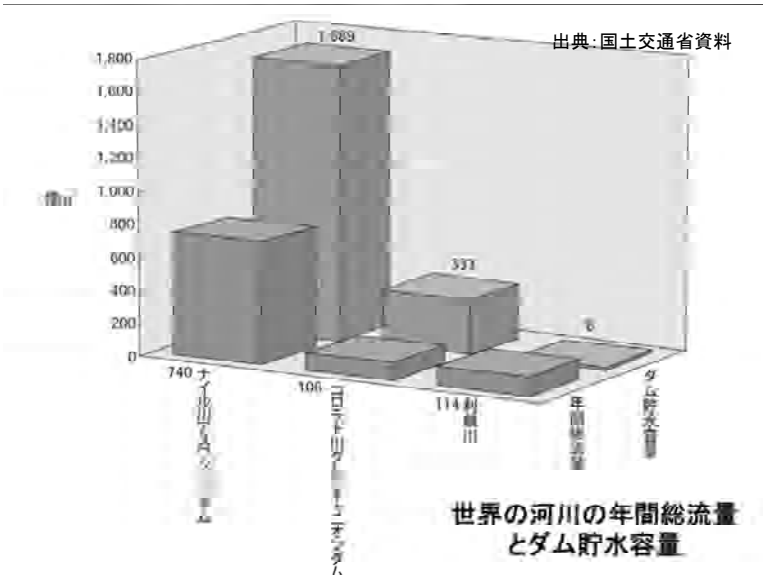
世界の河川，日本の河川

	名称	流域面積(km2)	長さ(km)
1	利根川	16,840	322
2	石狩川	14,330	268
3	信濃川	11,900	367
4	北上川	10,150	249
5	木曽川	9,100	227
6	十勝川	9,010	156
7	淀川	8,240	75
8	阿賀野川	7,710	210
9	最上川	7,040	229
10	天塩川	5,590	256
11	阿武隈川	5,400	239
12	天竜川	5,090	213
13	雄物川	4,711	133
14	米代川	4,100	136
15	富士川	3,990	128
16	江ノ川	3,870	194
17	吉野川	3,750	194
18	那珂川	3,270	150
19	荒川	2,940	173
20	九頭竜川	2,930	116

	名称	流域面積 (km²)	長さ (km)
1	アマゾン川	7,050,000	8,300
2	コンゴ川	3,680,000	4,371
3	ミシシッピ川－ミズーリ川	3,250,000	6,019
4	パラナ川(ラプラタ川)	3,100,000	3,998
5	ナイル川	2,870,000	6,690
6	エニセイ川	2,700,000	5,550
7	オビ川	2,430,000	5,570
8	レナ川	2,420,000	4,400
9	アムール川	1,855,000	4,368
10	マッケンジー川	1,790,000	4,241
11	ガンジス川－ブラマプトラ川	1,730,000	2,948
12	トカンチンス川	1,400,000	2,699
13	ヴォルガ川	1,380,000	3,645
14	ザンベジ川	1,330,000	2,693
15	ニジェール川	1,200,000	4,167
16	長江	1,175,000	6,380
17	ネルソン川－サスカチュワン川	1,093,000	2,570
18	セントローレンス川	1,030,000	3,058
19	インダス川	960,000	3,180
20	マレー川－ダーリング川	910,000	3,620

では日本はどうでしょう．日本の場合は島国ですし，少なくとも国際河川を持ちません．したがって水紛争にさらされないから大丈夫と思うかもしれません．けれども，先ほどお見せしたように，水はわれわれの知らないところで国際的に取引されています．農産物や工業製品という形で，われわれは水を輸出入をしているわけです．ですから，世界で水紛争が起きたり，世界中で水が足りなくなったりすると，それは人ごとではありません．われわれは，日本に降る降水量で一見水をまかなっているように見えますけれども，実は輸入している農産物や衣料品という形で，われわれはたくさんの水を外国から輸入しています．ですから，外国で水が枯渇してくると，そういったものが影響を受けて，われわれはそれを輸入できなくなるということが発生します．では，日本で水をもっと効率よく利用するためにはどうすればいいのか．これは世界の河川と日本の河川の規模を表わす表です．川の規模は，長さというより流域面積で決まります．したがって，日本で一番大きい川は利根川です．利根川は 1 万 6840km^2,次が石狩川で 1 万 4330km^2 です．これも余談ですが，利根川は江戸時代の前までは鬼怒川などと分かれて流れていました．もともとは江戸湾に流れていた川を，鬼怒川などと一緒にして，銚子の方に流したのが利根川です．人工的に流域面積が作られた川です．天然の川という意味では，石狩川が日本で一番大きいかもしれません．ただ，そういうことを言い出すと，信濃川と阿賀野川は，昔は河口が一緒でしたので，この二つを一つの川とすると，さらに流域面積の大きな川となります．いずれにしても，一万数千平方キロメートルぐらいの川に対して，アマゾン川は 705 万 km^2 で，500 倍あります．ほかの川も 300 万とか 200 万とか，日本よりも圧倒的に大きい川を世界は持っています．

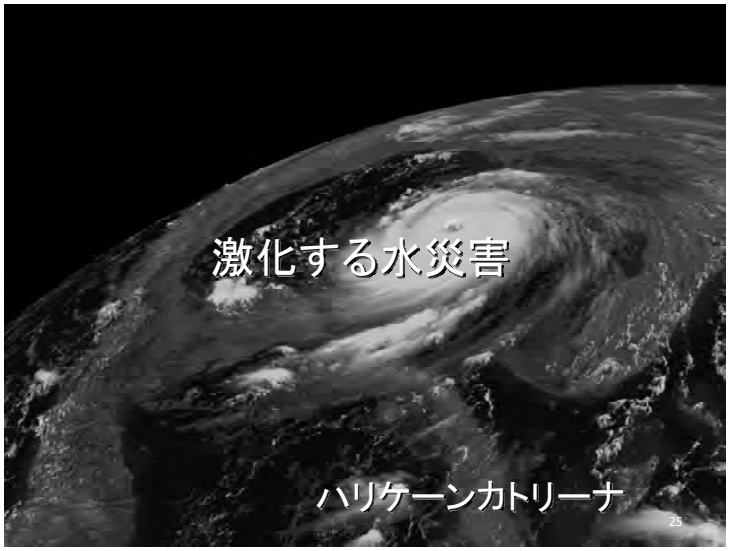
これは国土交通省の資料で，河川の年間総流量とダム貯水容量を表わした図です．例えば石狩川だと総流量は 147 億 t ぐらいあるのですが，それに対してどのぐらいため込むポケット，平たく言うとダムを持っているかというと，8.3 億 t ということを意味しています．



ところが，アメリカのコロラド川に造られたグレンキャニオンダムというのは 333 億 t の容量がありますから，年間総流量の 3 倍以上の水が貯められます．日本には，年間総流量よりもたくさん貯められるようなダムを持つ川は存在しません. もちろんそれは地形的に無理ですし，これだけ水がためられるようなダムを造るのはそれこそ自然破壊でしょう．

しかし，やはりわれわれが考えなくてはいけないのは，いま使われていない 80%なにがしの水を，効率よく使うためにはどうすれば良いのかということです．これは非常に重要な問題で

す．日本も人ごとと思っていられない重大な課題だと思います．



二つ目のお話が激化する水災害の話です．これは人工衛星で撮ったハリケーンカトリーナの写真です．

ハリケーンカトリーナは，2005 年に米国のミシシッピ川下流域で，約 2000 人の死者を出し，非常に大きな災害をもたらしました．これにはいくつかの原因が考えられます．まず，気候変動で極端現象が増加していて，それによって非常に大きい台風が増えている．この災害もその一端かもしれません．けれども，もう一つ違う要因があるという話もあります．アメリカでは工兵隊という軍隊がこのミシシッピ川を管理していて，上流でダムを作ったり，アチャフラヤ(Atchafalaya)という支流に分派させたり，Bonnet Spillway という放水路を作ってそこに水を流したりといった様々な方法で洪水防御を行っています．ニューオーリンズはアメリカでは珍

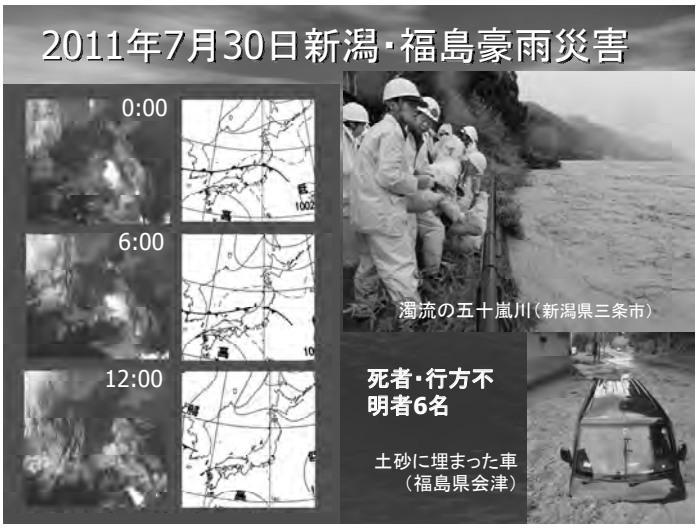
しく日本の町に近い，低平地に広がる町です．したがって，そこを守るために様々な対策が取られているのです．そのおかげもあって，ミシシッピ川下流では，近年，流れてくる土砂が少なくなったのではないかといわれています．ミシシッピ川の下流には，ミシシッピ川が運んできた土砂が堆積して広大なミシシッピデルタが形作られています．ミシシッピデルタが形成されているメキシコ湾は土地が沈降する傾向にある場所です．本来であれば大量の堆積土砂によって河口デルタが沖合に発達するはずですが，上流からの流送土砂が減少している現状では，河口デルタは発達するどころか徐々に後退しています．海側に発達した河口デルタのせいで，ニューオリンズはこれまでハリケーンによる甚大な被害から免れてきましたが，河口デルタが後退する傾向にあることで，以前よりハリケーンの被害を受けやすくなったというのです．

これは 2008 年に神戸市の都賀川で発生した水難事故のビデオ映像です．都賀川の上流域で降った局地的豪雨のせいで，都賀川では水位が 10 分間に 1.3m 上昇し，5 名の人命が失われまし

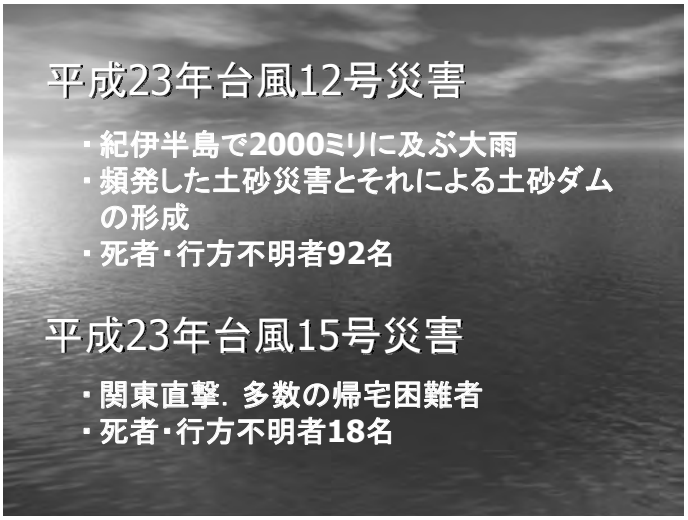
た．これがその出水までの写真ですが，事故が起きた 30 分前まで多くの親子が川で遊んでいます．雨が降り始めてあたりが薄暗くなり，10 分後には 1.34m も上昇しました．これまで経験したことのないほど早い出水でした．

これは，2010 年 8 月に北海道石狩川の支流，忠別川および美瑛川周辺において生じた集中豪雨による被害の様子です．橋梁や道路の崩壊が発生し 4 名の方がそれに巻き込まれて内 2 名の人命が失われました．これはその時の気象レーダーの様子ですが，雨域を表わす赤い帯が北海道の上空に東西に延びているのがわかります．この帯状の雨域を線状降水帯と呼びますが，これが長時間同じ場所に停滞することで，たくさんの雨を降らせました．東川町で 1 時間 42.5mm など，道内 8 地点で時間雨量過去最大を記録しています．

これは 2011 年 7 月下旬に発生した韓国の水害の様子です．停滞した雨雲が，特に大都市ソウルに大きな被害をもたらし，ソウル市内で道路が冠水したり地すべりが発生したりしました．これによって 53 名の方が亡くなったり行方不明になったりしています．韓国で雨を降らせた雨雲が，数日後今度は日本に大量の雨を降らせます．



それが 2011 年 7 月末に起こった新潟・福島豪雨災害です．これがその時の天気図ですが，東西に延びた前線が線状降水帯を作っています．それに沿って次々に発生する雨雲が長時間雨を降らせました．これによって，新潟県の五十嵐川ではこの写真のような状況となりました．会津でも土砂災害に巻き込まれて，死者・行方不明者が 6 名という被害が出ています．



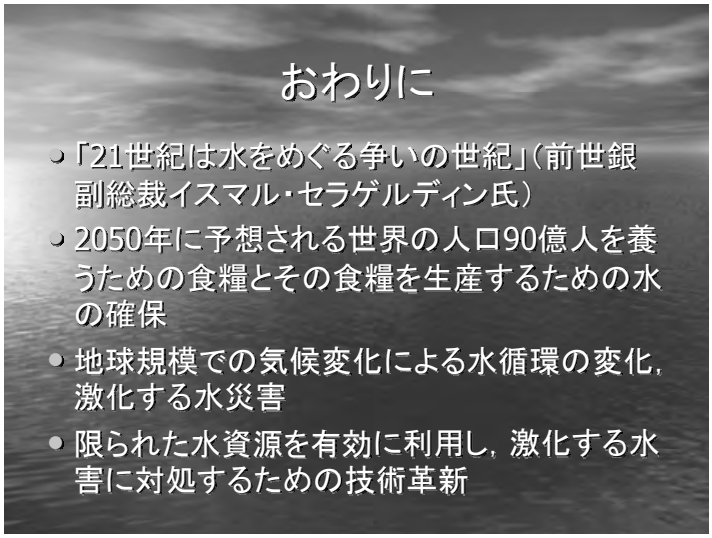
その後，台風 12 号災害，台風 15 号災害がありました．台風 12 号災害では，紀伊半島で 2000㎜に及ぶ大雨が一週間足らずの間に発生しています．これはとてつもない量です．2000㎜の雨とは，東京で 1 年間に降る量ですし，札幌では 2 年間の量にあたります．台風 12 号災害では頻発した土砂災害と，それによる土砂ダムの形成が問題になりました．死者・行方不明者は 92 名に昇っています．台風 12 号は 9 月のはじめでしたが，9 月のおわりに来たのが台風 15 号です．台風 15 号では関東を直撃して多数の帰宅困難者を出しました．死者・行方不明者は 18 名です．

台風 12 号は，その後北上して北海道にも雨を降らせました．これは幌平橋から下流を臨んだ豊平川の写真です．これは南 19 条大橋から上流を望んだ豊平川の様子です．大抵の札幌市民は，昭和 56 年水害以来，それほど多くの出水を経験したことがなかったので，テレビのニュースなどでも「札幌に水害が来るなんて」といった市民の反応が報道されました．われわれは忘れていますが，実は水害は何年かに 1 回は必ずやってきます．どんなに川を整備しても，想定を上回る大雨が発生します．それは 100 年に 1 回かもしれませんが．．．．これはジレンマです．例え

ば 30 年に 1 回洪水が来ると，住民たちは洪水のことを覚えているでしょう．しかしそれが 50 年に 1 回だったら，もう忘れてしまうかも知れません．100 年に 1 回に至っては，もう世代が変わってしまっていて，前の洪水を知っている人は皆無となります．ですから，川を整備すれば整備するほど，みんなは洪水の怖さを忘れて，川を整備することの大事さを忘れてしまいます．

これは,先ほどのお話にもありましたタイの洪水の様子です.ちょっと地味な写真ですが,版権の問題がないようこれらの写真を使ってます.私はAITに1999～2001年までいたのですが,そのときの同僚の教授が，今 AIT はこういう状況だといって写真を送ってくれました．AIT というのはアジア工科大学のことで，アユタヤとバンコクのちょうど真ん中ぐらいにあります．アユタヤとバンコクは 100km ぐらい離れていますから，AIT はバンコクから 50km ぐらいのところです．ドンムアン空港が AIT の 20km ぐらい手前ですから，北に行くに従って，バンコク，ドンムアン空港，アジア工科大学，アユタヤという順番で並んでいます．この写真は大体 10 日ぐらい前に E メールで送られてきた写真です．これはゴルフ場ですが，1m ぐらい冠水してしまっています．皆さんご存じのように山田長政がいた 16 世紀頃，タイの首都はアユタヤにありました．これは私の想像の域を出ないのですが，恐らく昔はバンコクの，いわゆるチャオプラヤ・デルタは湿地帯で，利用するのがなかなか難しかったのではないかと思います．タイ人は，現在の中国の雲南省からメコン川とチャオプラヤ川を伝って二つに分かれて南下してきた民族です．南下して住めるところまで来たのでしょう．14～16 世紀ぐらいまでにアユタヤに到達しました．そして恐らく湿地帯を開発する技術が進んだのか，その後王宮はバンコクに移ります．今，バンコク市内に洪水が来て，みんな驚いているような顔をしていますが（中には泳いでい

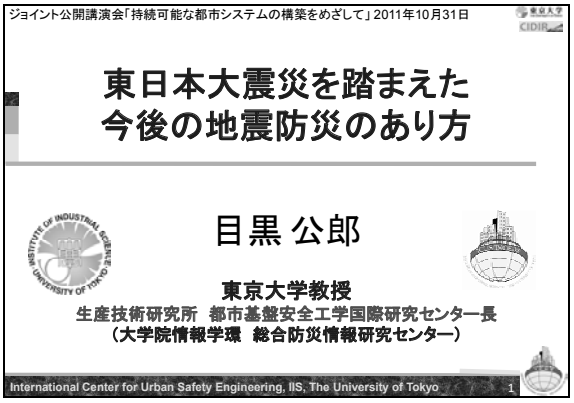
る人もいますが)，実は 30～40 年前までバンコク市内は湿地だらけでした．水路が縦横にあって，王様の儀式のときは必ず船を使って移動していました．タイに行ったことがある人は分かると思いますが，今，水上マーケットは観光資源の一つです．でも，数十年前までは，あれが日常だったのです．隣のメコン川やイラワジ川を見れば分かります．今でも，そういう水上マーケットが日常生活の中にあります．メコン川は年に 1 回は増水して氾濫します．それでも大丈夫なように，みんな船を持っていて，いわゆる水上で生活できるような生活システムを持っています．チャオプラヤ川の上流に大きなダムができて，バンコクは水につからなくて済むようになりました．それでバンコク市民は，水上マーケットを観光資源にしてしまって，陸に上がって生活しはじめました．再び数十年前と同じような洪水がやってきて，水に慣れていない世代のタイ人たちが大変な目に遭っているというのが今の状況ではないかと私は思います．王宮の近くやチャオプラヤ川沿いにニューロードという有名な道があります．タイに行ったことがある人はご存じだと思いますが，ニューロードという道は非常に古い道路で，チュラロンコーン王が作った道路です．チュラロンコーン王は明治天皇と同じぐらいに生きた人ですから 100 年以上前の人です．当時タイにも西洋の人たちがやってきてバンコクで生活しようとするのですが，西洋人は船の生活に慣れていなくて馬車を使おうとします．しかし，それを使えるところがなかった．それで，時のチュラロンコーン王が命じて，馬車が走れる道路を造らせた．それに「新しい道路」，「ニューロード」という名前を付けたといわれています．それぐらいバンコクは湿地でした．民衆はみんな川で暮らしていました．それを忘れてしまったタイ人が，今，右往左往しているという感じでしょうか．



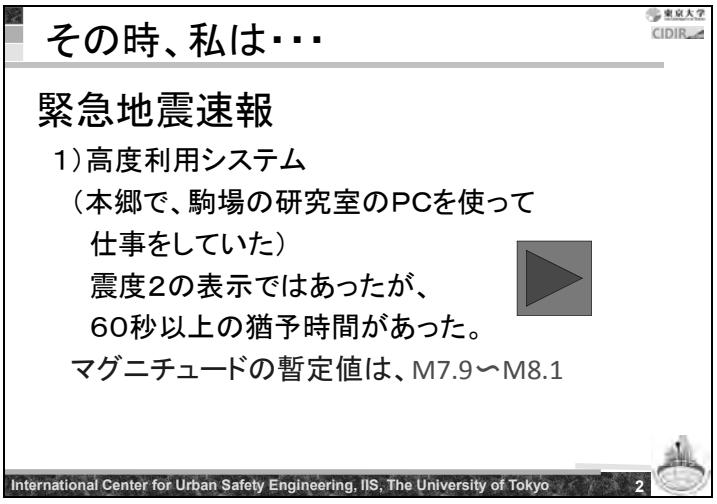
以上，問題提起をするだけで解決策を提示できないのですが，最後にまとめると次のようになるでしょうか．21 世紀は水をめぐる争いの世紀だとよくいわれます．2050 年に予想される世界の人口 90 億人を養うための食糧と，その食糧を生産するための水の確保．これらは，われわれ日本は大丈夫だと言っていられなくて，真剣に考えなければいけない問題です．一方で，地球規模での気候変化による水循環の変化，激化する水災害の問題があります．限られた水資源を有効に利用し，激化する水害に対処するための技術革新が今，切実に求められているのではないでしょうか．

4. 東日本大震災を踏まえた今後の地震防災のあり方

目黒　公郎（東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター長・教授）



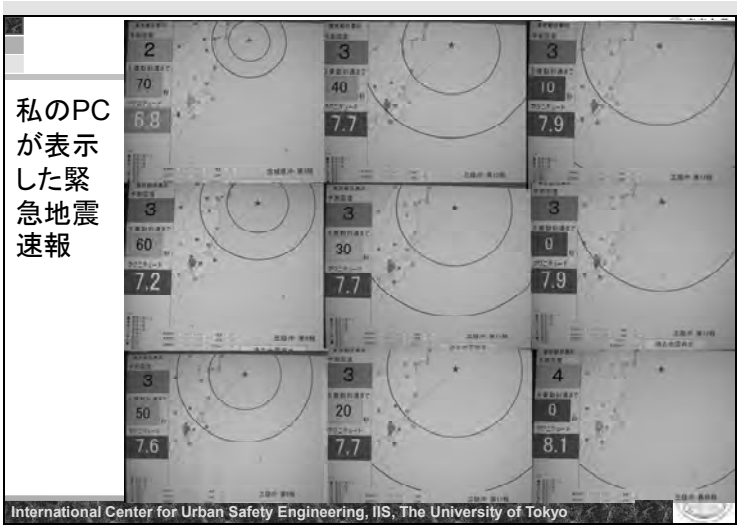
では，私の方から，東日本大震災を踏まえて，今後我が国がどのような防災対策を進めていくべきかについてお話させていただきます.



この地震が起こりましたのは，7 カ月ほど前の 3 月 11 日の午後 2 時 46 分でした．その時，私はどこで何をしていたかというと，たまたまその日は，本郷の方で用事がありまして，本郷の自分の部屋で、駒場の私の研究室の PC にリモートアクセスして仕事をしていました．この日は午後３時から出席しなくてはいけない会合があり，そろそろ出かけようとしているタイミングでした.

私は緊急地震速報の一般利用に関する各種委員会の委員をしていたこともあり，駒場の研究室の PC には，一般利用が始まる前から高度利用の緊急地震速報のシステムを導入していました．そのシステムが突然起動しました．どんな状態であったのかを，今から，その様子を見ていいただきますが，これは当時のビデオですので，実際に今から大きな地震が襲ってくるわけではな

いので、安心してご覧ください.



では始めます.（録画画像）今見ていただいているように，私は実際に自分が激しい揺れを感じる 60 数秒前には，宮城県の太平洋沖で地震が発生したことを知ることができました．この場所では， 2 日前にマグニチュード 7.3 という地震がありましたので，最初はその余震かと思いました. ところが，マグニチュードがどんどん大きくなるので，「これは違う，ついに宮城県沖地震が起こった」と最初は思いました. しかし，想定されていた宮城県沖地震はマグニチュードが 7.5 程度だったのに対して，さらにマグニチュードが大きくなるので，これはただ事ではないと感じました．大きな地震の後は電話が輻輳して使えなくなるので，家に電話しながら，自分の周辺の様子を確かめつつモニターの画面を見ていました.

猶予時間が 10 秒になり，カウントダウンが始まったころには，私の部屋もかなり揺れ出しました．最終的に猶予時間がゼロになったときのマグニチュードが 7.9 だったことを鮮明に覚えています．この値は画面にも記載があるように第 12 報でしたが，その後また改訂され，最終的には 8.1 になって，それが最終報になります.

今見ていただきましたように，緊急地震速報の高度利用を入れておくと，自分のところが激しく揺れる前に，想定震度と猶予時間を得られる可能性があります.

緊急地震速報がどんなものであるかを少し説明します．緊急地震速報は地震予知ではありませんが，ある程度遠距離の大きな地震の場合には猶予時間が極端に短い場合の直前予知と同様の意味を持つものです. 日本は，国内に高密度に，高性能の地震計を多数設置していますので，どこかで地震が起こると，最寄りの地震計がまずP波を検知します. この時点から，約4秒間で，このＰ波を発生させた地震が，どこで起こった，どれぐらいのマグニチュードのものかが計算できます.

地震の発生時刻と場所（震源）とマグニチュードの３つがわかると，各地で予想される地震動

の強さと到達時間が計算できます．地震被害を及ぼす揺れは，P 波の後にやってくる S 波です．このP 波と S 波が観測点に到達する時間の差を P-S 時間（秒）といいますが，この値に×7 ぐらいをすると観測点と地震が発生した震源までの距離(km)が求められます.最寄りの地震計が震源のすぐ近くにあったとしても，震源とマグニチュードの計算に４秒間かかりますから，最低でも 4(秒)×7(km/秒)≒30(km),自分を中心とした地面の中の半径約 30km の半球の内側で地震が発生した場合には，S 波到達前に情報を出すことは無理なのです.しかし，それよりも離れている場所であれば，皆さんの場所に S 波が到達する前に情報提供できる可能性を持つシステムが出来上がったということです.

S 波の到達時刻は，マグニチュードの大小に関係なく求められますが，マグニチュードが小さい場合は揺れも弱いので事前に揺れの到達時刻が分かっても実質的な意味はあまりありません。ある程度離れた場所で起こった大きなマグニチュードの地震の場合に，防災上の大きな意味を持つわけです.

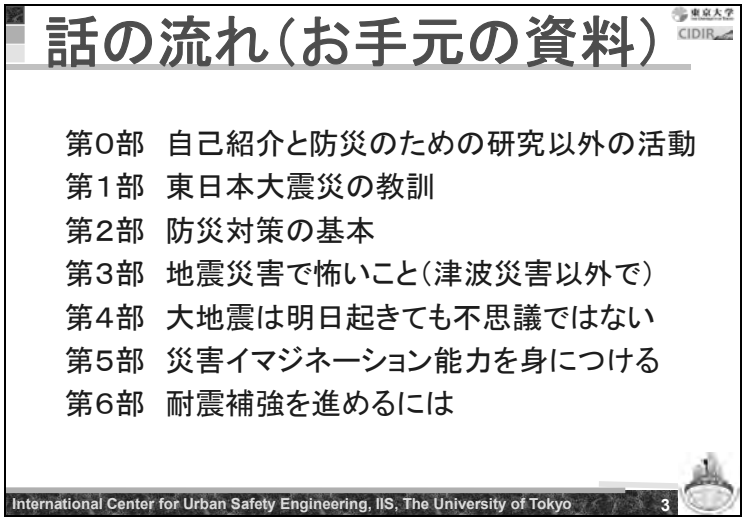
現在,緊急地震速報では一般利用と高度利用という 2 通りのサービスが行われています.皆さんが特別の契約をしなくても，テレビやラジオ，携帯電話などを介して情報を受けるものが一般利用です．これは日本全体を 200 ぐらいのエリアに分け，その各エリアで１箇所でも震度 5 弱以上の揺れが想定される場合に，震度 4 以上の揺れが想定されるエリアに情報を流すというものです．日本全体を 200 ぐらいに分けたエリアですから，広さとしては都道府県をそれぞれ 4 つぐらいに分けた程度です.それなりの大きさはありますので,震源に近い側と遠い側では，S 波の到達時間や揺れの強さに差が出てくるでしょうし，揺れの違いは距離だけでなくエリア中の地盤条件の違いでも生じますので，一般利用の場合は「何秒後に，震度幾つで」という数値の情報は流さないことになっています．ところで，東日本大震災の時に，東京では緊急地震速報を受けなかったという人がいますが，これは東京の震度が４以上の評価になっていなかったからなのです.全国区で情報を出す NHK だけが東京にも情報を出した理由はここにあります。

一方，高度利用は，利用者用の装置（デバイス）を契約に基づいて設置してもらいますので，利用者の位置，地盤条件や建物の応答までの詳細な情報を加味して，S 波の強さと到達時刻を求めることができます.また情報を受けたい震度やマグニチュードも自由に設定できます.ですから，高度利用では「何秒後に，震度幾つで」の情報を受けることができるのです.

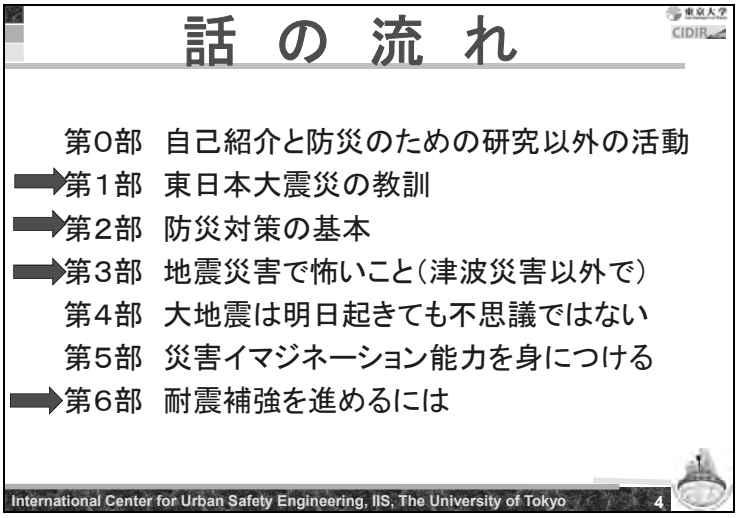
先ほども申し上げたように，私は緊急地震速報の一般配信に向けたいろいろな委員会のメンバーをしていた関係もあって，一般配信の開始よりもずっと前から，高度利用のシステムを自分の PC にインストールし,マグニチュードを小さめに設定して，日本中でどんな地震が起こっているのか,緊急地震速報に問題はないかなどを確認できるようにしていたのです.今回の地震,

東北地方太平洋沖地震は,遠距離でかつマグニチュードが非常に大きかったので,あれだけ長い猶予時間を得ることができた訳です.

ただし，実際のマグニチュードが Mw9.0 の地震を，M7.9 とか 8.1 と判定してしまったことが後々,問題を生みました.気象庁は地震動の最大振幅から求めるマグニチュードを採用していますが，この種の方法では M8 くらいからマグニチュードが大きくなれない，頭打ちになる問題があります．この現象を「マグニチュードの飽和現象」といいますが,これは破壊された断層が拡大しマグニチュードが大きくなっても,地震の揺れの最大振幅に影響を及ぼすのは比較的観測地点に近い場所の断層破壊であって,断層の破壊が遠い方に大きく広がった影響は継続時間を伸ばしても最大振幅には影響しないからです.この問題を解決するに,揺れの最大振幅からではなく,断層破壊のエネルギーを物理的に表現するモーメントマグニチュードという頭打ちにならないマグニチュードが新しく定義されて，今ではそれが一般に使われるようになりました.気象庁もこの問題は認識していたのですが,異本的に断層破棄が完了するまで定義できないモーメントマグニチュードに比べた場合のマグニチュード判定の速報性を重要視した点と我が国の周辺で M9 クラスの地震が起こることは考えていなかったのでしょう.ずっと最大振幅から定義するマグニチュード（気象庁マグニチュード）を使っていました.



さて，皆さんのお手元の私が用意したレジュメには，第 0 部から第 6 部までの記載があると思いますが，申し訳ありませんが,時間の制約上，ここに書いてある内容を詳しく説明することはできません．そこで，今日は主に四つに話題を絞ってお話をしたいと思います．そこでまず，詳しく話の出来ない 4 部と 5 部，さらにひょっとしたら時間がなくなって紹介しきれないかもしれない 6 部について，あらかじめ簡単に触れておきます.



第 4 部は現在の我が国の地震学的な環境についてです. 現在, わが国は大きな地震が頻発する活動度が高い時期に入っており，今後 30 年ー50 年では M8 クラスの地震が 4～5 回，M7 クラスはその 10 倍の 40～50 回，わが国を襲うということです. 現状のままで, 対策が不十分なまま, これらの地震が起こると，全壊・全焼の建物だけで 200 万棟ぐらい，世帯数にすると×2 倍ぐらいなので，約 400 万世帯が住みかを失います．経済被害は，これも条件が悪いと 200 兆円というスケールです．これが，今，われわれが直面する地震災害だということをまずご理解ください.

それから，第 5 部の災害イマジネーションは，防災対策を具体化する上で最も大切な能力です．私たちは自分が自覚するしないにかかわらず，毎日，いろいろな場所を動いていますし，場所や時間で違った役割を持っています. その異なる場所や役割, 違った時間や季節, 天候や自分の服装, 持ち物などの条件を踏まえた上で，例えば震度 6 強の揺れを受けた状況を想定する. さあ，私の周りで時間の経過と共に何が起こるのだろうか．災害イマジネーションとは，これを適切に想像する能力のことですが，私たちのこの能力が非常に低いのです．ここで言う私たちとは, 政治家から始まって, 行政の人間，研究者，さらにマスコミ，そして一般市民を含めた社会を構成する全ての人々を指しています. この乏しい災害イマジネーションが, 適切な防災対策の立案とその実施を阻害しているのです.

われわれ人間は，自分がイメージできない，想像できないことに対しての適切な備えや対応は絶対にできません. にもかかわらず, これまで防災教育と称してやってきたことは,「A やれ, B やれ, C やるな」的な教育や訓練であり, これは思考停止させていたということです. だから, 必要ないのに, 今だに「グラッときたら火を消せ」となるのです. 私たちがこれからやらなければいけないことは，きちんと自分の周りで何が起こるかを想像できる人を増やすことです．それができないと，適切な対策は絶対に実現できません.

第 6 部は何か．東日本大震災によって，津波災害の重要性が強く認識されました．津波の防災対策はもちろん重要ですし，これを否定するものではありません．しかし，津波災害に襲われる可能性があるのは，おおむね標高でいえば 20ー30m 以下の場所，海岸線からの距離は，河川沿いでもせいぜい 5ー10km ぐらいまでの範囲です．しかし，それよりも標高が高く，内陸側であっても，地震動の問題はあります．激しい揺れで構造物が壊れると多くの方々が亡くなったり，それを主な原因として火事が発生したりします．また地域を襲う順番は，まずは揺れが来て，その次に火事や津波の影響が及ぶことを考えれば，せっかく津波避難施設をつくって，そこへの避難訓練を実施していても，津波の前に地域を襲う揺れによって自宅や施設が倒壊したのでは元も子もないわけです．この観点からも，建物の耐震性を向上させることは非常に重要です．

もちろん皆さん，その重要性を理解していないわけではありません．弱い家よりも強い家の方が安全なことなど誰だって知っています．だから「弱い家に住むよりも，強い家に住んだ方がいい」などといくら言っていても，耐震補強や建て替えは進まないのです．ではどうするか．

私はもともと工学の教育を受けていますが，工学系の人たちは，どうしても技術系の課題解決に一生懸命になるし，それが一番重要で，それを解決すれば問題解決できると思いがちです．そしてこのような状況は工学に限ったことではありません．

地震防災の最終目的が地震被害の最小化であること言うまでもありません．しかし多くの関係者が現状の問題点を踏まえた上で，これらが何を原因として未解決なのかを分析し，それを解決する努力を十分してきたでしょうか．地震防災に関係する科学者や技術者が，そして行政関係者が，自分の枠の中だけで満足し，科学者は科学的メカニズムにだけ興味を示し，技術者は技術的な問題だけに取り組み，行政関係者は自分の所轄の議論に終始していないでしょうか．自分たちの勝手な思い込みによる目的と社会からの期待の間にギャップはないでしょうか．先程も触れたように，自分の枠内の個別の問題が解決されれば，最終的な目的が達成されると勘違いしていないでしょうか．そうでないことをわかっているくせに，それを敢えて伏せて，「自分はまあこれをやっていればいいか，将来的には防災につながるのだから」と言い訳していないでしょうか．原因分析の結果，それが政治力の不足であれば政治力を持つ努力，それが経済的な問題であればその対策，制度上の問題であれば正しい制度設計に取り組もうとする意識改革が必要です．

私達はどんな仕事をしてようが，一納税者，一市民としての顔を持っています．その市民としての立場から，自分のような仕事に従事する者に何を期待するか．この視点を常に持ち，それに答える努力と社会に通じる言葉を使った情報発信を続けていくことが重要だと思います．

脆弱建物の耐震補強に関して言えば，技術的には耐震性を向上させる補強技術以上に，耐震性

を簡単に正確に評価し,一般の人々に理解してもらうことができる診断技術の整備が重要です.さらに言えば,これらの技術以上に,耐震補強を推進させるための社会制度の整備が重要であると私は考えています.その制度設計においては,努力した人が報われる環境の実現が重要だと思っています。

そこで，私は「目黒の 3 点セット」という耐震補強を推進する新しいタイプの「公助」，新しいタイプの「共助」，新しいタイプの「自助」の制度を提案しています．いずれも事前に努力した人が報われ，将来の地震被害を大幅に抑止する効果を持つものです．この 3 つの制度が実現すれば，耐震補強をするか，耐震診断の結果，現行基準を満足する建物の持ち主には，それが将来の地震時に万が一,揺れで壊れようが火事で焼けようが,彼らには特別な出資が無くても，2,000 万円から 3,000 万円の資金が提供され，そのお金で建物を新築し，生活再建が可能になる夢のような仕組みができるということです.

こういった制度を実現した上で,「いい場所に,いいものをつくって,よくメンテナンスして,長く使う」という新しい日本人の住まい観をつくっていかないと，少子高齢人口減少の我が国では，品質の高い住宅ストックの維持管理は，もはや完全に無理なのです.

では，この「目黒の３点セット」とは具体的にどんなものか？

まず「目黒の公助」は，市民が事前に自腹で補強するか，診断を受けて，現行基準を満足していることを確認する．その建物が将来の地震で被災した場合に，事前に努力しない，つまり現行の基準を満足する建物に住んでいないで被災した人よりも優遇して支援する制度です．我が国は自然災害に対しては「自力復興の原則」を謳っています．しかし実際に被災すると，行政は,ガレキの処理や仮設住宅用の土地の整備,仮設住宅の建設と撤去,復興住宅の建設など,様々なことがらにお金を使わなければならない状況が生まれます．被災者の状態は様々なので一概には言えませんが，例えば「自宅の崩壊→ガレキ処理→仮設住宅への居住→自宅の再建」の事例で，阪神・淡路大震災では最大で 1 世帯に 1,400 万円ぐらいの資金が使われています.これらのお金のほとんどは，住宅が壊れなければ使わなくていいものです．であれば，地震時に建物が壊れないための自助努力をしたにもかかわらず被災した人に，行政が 1,000 万円ー1,500 万円の支援をしたとしても，行政のトータルの出費は大幅に減るのです．その理由は,家が強くなっているからであり，壊れる建物数が大幅に減るからです．結果として，死傷者数も大幅に軽減できます．このシステムが地震保険と似ているように感じる人もいらっしゃるかもしれませんが,これは全然違います.現在の地震保険はリスクファイナンスには貢献しても,基本的にリスクコントロールには貢献していないので，地震保険に入っていようが入っていまいが，被害は同じように発生するし当然死傷者も出ます．だから行政の出費も変わりません.

しかし私の提案システムでは，建物が強くなっていますから被害は大幅に減るし，結果的に必要となる仮設住宅も大幅に減ります．首都圏などでは，仮設住宅を建設するスペースもないので，これは非常に重要なポイントです．

また，事前に行政がお金を用意して耐震補強を支援する現行の制度は，対象となる建物数を前提にすると，事前に十分な財源を確保することは絶対に無理なのです．現在，既存不適格建物は，1 都道府県単位で数十万戸あります．皆さんの意識が高まり，「1 世帯で 100 万円の支援を」と言われた瞬間に数千億円のお金を用意しなければいけなくなります．地震の前にこれだけの予算を確保できる自治体はありません．現在は，財政的には絶対無理であるにもかかわらず，行政は「我々はせっかくいい制度をつくっているのに，市民の皆様が手を挙げてくれないので残念だ」と言っている．実際は対象となる市民が手を挙げた瞬間に成立しない制度になっているということです．

それから，私の提案制度では，様々な間接的なプラスの影響もあります．従来の制度では公的な資金が投入された建物が，その後どのようにメンテナンスされるのかを確認するインセティブが行政には発生しないのです．だから「一発勝負のやりっぱなし」になり，悪徳業者が入る余地を作るのです．しかし私の制度では，契約をした物件が将来やられたらお金を払わなければいけないので，継続的に品質を監視する仕組みができ，それが責任あるビジネスとなって地元に貢献するし，悪徳業者が入れない環境が実現できるのです．また耐震補強を躊躇している理由の中には，次のようなものもあります．耐震補強をした住宅 100 軒としていない 100 軒を比べれば当然耐震補強をしている住宅 100 軒の耐震性の方が平均的に高いことはわかる．しかし耐震補強した自分の家がどの程度耐震性が向上しているのかよくわからないし，さらには将来その家が被災しても誰も保障してくれない．しかし私の制度であれば，「仮に被災しても，事前に努力したあなたは，手厚い支援を受けられるので大丈夫だよ」と背中を押して挙げることができる，などいい効果がいっぱいあります．

それから，2 番目の「目黒の共助」とは何か？　これは，オールジャパンの事前に努力した世帯を対象とした共済制度です．現行の基準を満足する耐震性の建物が壊れるのはどれぐらいかというと，震度 6 以上の場所のわずか 2，3%の全壊と，その 2，3 倍の半壊というレベルです．今，想定している大きな地震が発生した場合でも，震度 6 以上の場所は日本全体の建物ストックのせいぜい 10%以下程度です．その中の 2，3%が壊れるということですから，条件が悪くても数百戸の人たちで 1 戸の全壊，2，3 戸の半壊を支援するという仕組みになるので，耐震補強時に，たったの 1 回，消費税以下の積み立てをするだけで，その建物がもし将来の地震時に全壊した場合に 1,000 万円，半壊だったら 300 万円の支援というような制度が簡単にできる

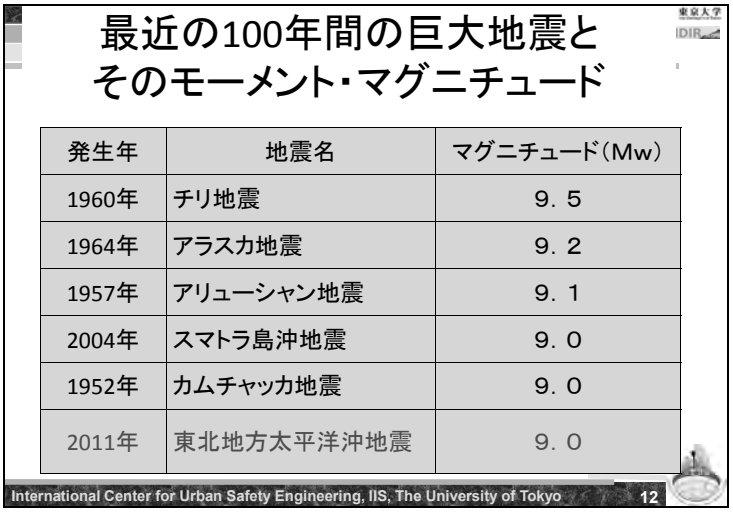
ということなのです.

この研究成果に基づいて，工務店さんに言っているのは，あなたが 2,000 万円から 3,000 万円の住宅をつくる場合に，10 万から 20 万円の利益を内在させることは簡単なので，その上で「私の工務店がつくったものが，これから 10 年とか 20 年の間に地震がきて全壊したら，ただで再建します」という，驚くようなビジネスモデルが簡単にできるということです．地域限定で仕事をしている工務店であれば，他の地域の工務店と協定を結んでリスクをヘッジすればいいのです.

最後に,「目黒の自助」についてお話しします．これは事前に努力した人たちを対象とした揺れ被害を免責とする新しい地震保険制度です．私の提案する「公助と共助」制度で，現行基準を満たす建物が揺れで壊れたときには 2,000 万円から 3,000 万円の支援が受けられるので，敢えて地震保険を持ち出すまでもない. 問題は,「私は耐震補強をしていたので揺れでは壊れなかった．しかし地震後の火災で焼けてしまった．これを何とか補償して欲しい」という要求に答える新しい地震保険です．実は耐震性と初期出火率は比例し，さらに初期消火成功率は建物被災率が低いほど高くなります．ゆえに耐震性が高く，建物が被災しなければ延焼確率を大幅に減らすことができます．これらの条件を加味して，現在の地震保険と同様に地震保険を設計すると，保険料は現行の保険制度の１ー数%程度にできます．言い換えると，年間 10 万円の保険料が 1,000 円ー数千円ぐらいになるという意味です．戸建住宅に住んでいて，年間この程度のお金を払えない人はいないでしょう．安過ぎるというのだったら，２倍にして火災保険の上限 50%を取り払ったらいい.

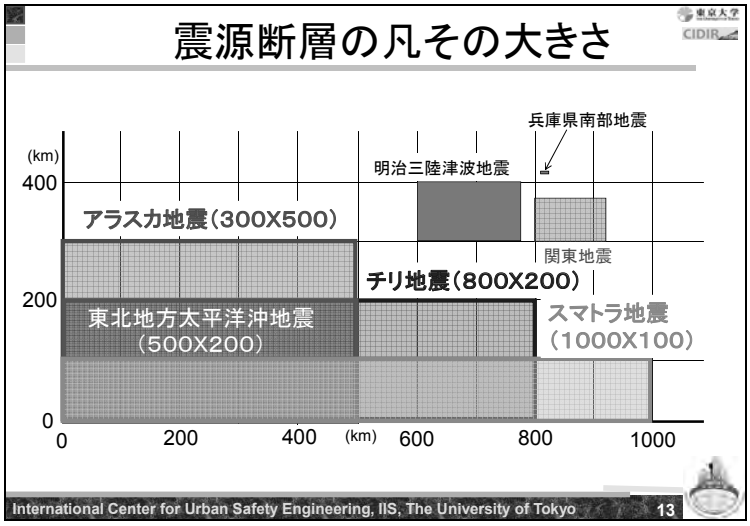
巨大地震が頻発する我が国において,将来的な被害を前提にすると,このようなシステムを実現して将来の被害を大幅に抑止しない限り，本当に弱い人を守れる状況にはないことを私たちはもっと認識すべきです.努力しないでいて，弱い家に住み続け,それが壊れた時に,「かわいそうだから,いっぱいお金をあげましょう」という制度が本当に成立するでしょうか.この種の制度の代表である生活再建支援制度は様々な問題を内在する制度です.防災の制度であるにもかかわらず,将来の被害を抑止する効果が全くない制度です．しかも，収入制限を撤廃した現在では,莫大な公的資金の投入が必要で，将来の大地震時の財源が全く足りず，制度として成立しません.皆さん貴重な税金の使い方として，本当にそれでいいのですか．もっと抜本的な解決策があるのだったら，そちらに向かって進みませんかというのが，第 6 部の話です．ではこの結論に向けて，今からお話をします.

さて，東日本大震災です.

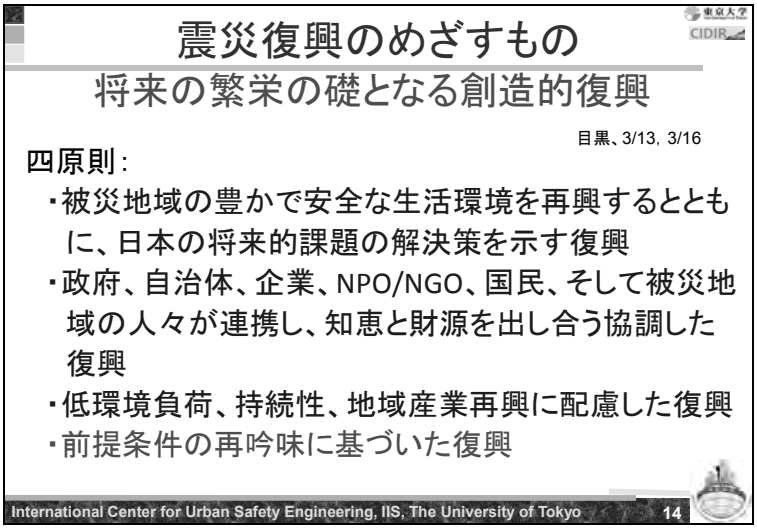


発生年	地震名	マグニチュード（Mw）
1960年	チリ地震	９．５
1964年	アラスカ地震	９．２
1957年	アリューシャン地震	９．１
2004年	スマトラ島沖地震	９．０
1952年	カムチャッカ地震	９．０
2011年	東北地方太平洋沖地震	９．０

皆さん，ご存じのように，この震災を引き起こした地震「東北地方太平洋沖地震」は大変大きな地震で，最終的にはモーメントマグニチュード（Mw）は 9.0 と評価されました.



断層の広がりは，この図を見ていただくとおりで，すごく大きい．約 500 キロメートル×200 キロメートルの大きさです. ちなみに兵庫県南部地震と比べると, その大きさがいかに違うかが分かります.



この地震の 2 日後の 3 月 13 日に，私は知人を介して国家戦略室に呼ばれました.「今後震災がどのように進展するのか.それに対して,政府はどのように対応すべきかについて助言して欲しい」ということでした.菅総理に直結しているし，いろいろ申し出も聞いてくれるから，ぜひ助言して欲しいということでした.

3 月 13 日と３日後の会合を踏まえ，私はまず，以下のような提言をまとめました．震災からの復興ビジョンです．ます初めに「将来の繁栄の礎となる創造的な復興」を掲げ、それを実現するための 4 原則をまとめたのです．４つの原則は以下のようなものでした.

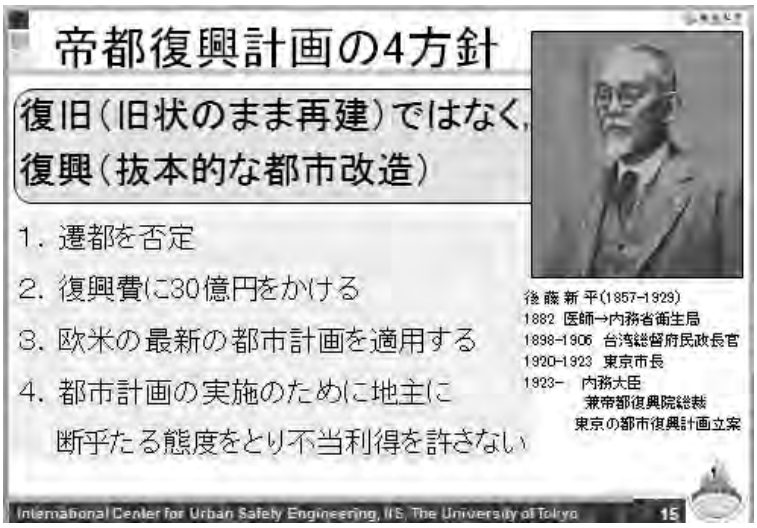
最初の原則「被災地域の豊かで安全な生活環境を再興するとともに、日本の将来的課題の解決策を示す復興」は，被災地域の豊かで安全な生活環境の再興がもちろん第一だが，今回，被災された地域は，例えば少子高齢人口減少のような課題に関しては，日本の平均値よりも何段階か先行している地域です．そのような地域の復旧・復興は，遅れてやってくる他の地域の解決策がそこにあるような形で復興していただきたい．それを目指すべきだということです.

二つ目の「政府、自治体、企業、NPO/NGO、国民、そして被災地域の人々が連携し、知恵と財源を出し合う協調した復興」は，国と被災地の自治体と被災者が頑張ればいいというのではなくて，オールジャパンで知恵とお金を出そうということです．この理由は二つです．一つは規模が非常に大きいので,オールジャパンで対応しなければ無理だということ.そして二つ目は，これがより重要なのですが，防災力を高めるには実経験を踏むのがいいのはみんな知っています．しかし，時間や地域を限定すると，災害のデパートと言われる日本でも全員が実経験を積むことは無理です．この点を踏まえ，私は地震から 2 日後の会合で，最初に「この時点でこういう発言は不適切かもしれません.しかし皆さんにぜひ認識していただく必要があるので,あえて申し上げます．起こって欲しくなかったわけですが，今回，こういう大地震と巨大津波が発生し，甚大な被害が出ています．この災害への対応をオールジャパンで実施し，国全体がこれ

を学ばないと，近未来にやってくる首都直下地震や，東海，東南海，南海地震は我が国にとってぶっつけ本番になるということです」と申し上げました．つまり，オールジャパンで被災地を長期的に支援するということは，被災地のためになることはもちろん，被災していない地域が，実際の災害現場を活用して，災害対応や防災について学ぶ機会を得られるということです．この被災地支援活動は，我が国全体の防災力を高め，将来の災害軽減のために不可欠であることを伝えたわけです．

三つ目の「低環境負荷、持続性、地域産業再興に配慮した復興」は，そのままの意味です．

四つ目の「前提条件の再吟味に基づいた復興」は，「想定外の○○」という話ばかりになってきているので，前提条件をひとつひとつ再吟味してから次に進もうとしたわけです．



私が 4 原則と言ったのは，1923 年の大正関東地震が引き起こした関東大震災の後に，後藤新平が出した帝都復興計画を知っていたからです．

後藤は陸奥国，現在の岩手県出身で，もともとは医師です．公衆衛生の専門でしたが，伝染病などが出ないようにと考えていくと，結果として上下水道をはじめとしたインフラ整備の重要性に気づき，それがまちづくりや都市計画につながり，そちらでも業績を挙げた方です．

彼は 1923 年の関東地震の前に，東京市長として，当時の建築，土木，都市計画のばりばりの若手と，大日本帝国の首都としてふさわしい東京をどんなふうにつくり変えていくべきかの計画づくりをします．そして幾つもの案を作り，持っていたのです．その状態で，関東地震が起こり，実際の被害の状態や分布が分かり，これと前に作っていた計画を合わせて，直後に将来の東京のあるべき姿をぽんと出したわけです．それが帝都復興計画です．事前の検討があって初めてこの計画を直後に提示することができたということです．

ところでこの計画を提示する際に，彼は「復旧ではなくて復興である」と言います．私は先程も紹介したように，「将来の繁栄の礎となる創造的な復興」というビジョンを掲げました．余

談ですが，随分後になって，菅さんが政府のビジョンとして言ったのは「復旧ではなく，創造的復興である」というものです．実際はよく分からないですが，私は単に２つをくっつけたのではないかと当時思いました。

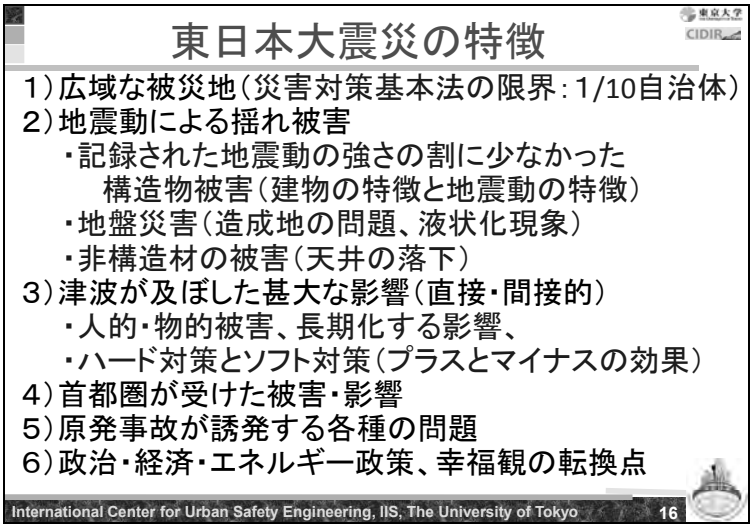
さて話を元に戻して，後藤は復興ビジョンとして，「復旧ではなく復興である」を掲げ，その下に次の４つの方針を掲げました．

まず最初に，「遷都はしない」と言います．これだけやられた東京のまちを見て，もう首都を京都にお返しした方がいいのではないかという話が出る訳ですが，まずはそれをしないと宣言するわけです．

２つ目は，「復興費に 30 億円をかける」と言います．この額は当時の国家予算が 15 億円程度ですから，今の私たちの感覚でいえば，150～200 兆円かけるというスケールです．当然，政敵からのいろいろな反対意見が出て，最終的には 6 億円程度に縮小されるのですが，後藤はこれらを折り込み積みで，30 億円といったのではないかと感じます. これくらい言わないと 6 億円も確保できなかったという意味です.

３つ目に，「欧米の最新の都市計画を適用する」と言います．そして４つ目に，「３の計画を実施する上で，大地主に断固たる姿勢を示し，不当利益は出させない」と言います.

以上の復興のビジョンと４方針，後藤の強いリーダーシップの下，東京のまちが復興したのです．これで東京のまちは本当に大きく変わりましたし，昭和に至るまでその後に実施された都市計画も，後藤の帝都復興の遺産を活用して実現できたものが少なくありません．関東地震の後に，1923 年当時のまちをそのまま再建したら，今日の東京はとんでもないことになっていました. 災害後は平時にはできない規模で，大きくまちを変えられる貴重な機会ともいえます. 後藤はそのタイミングを使って，強いリーダーシップをもってまちを大きく変えたということです．今回の被災地等を見て，これだけのリーダーシップが発揮できているかというと，ちょっと残念な状況です.



今回の震災の特徴ですが，まずは被災地が非常に広域にわたることです．日本の防災の最も基本的な法律は「災害対策基本法」ですが，この中では市町村長がまず災害対策や対応の責任を持つことになっていますので，対象としている災害の規模は基本的には市町村のレベルなのです．それを越えると都道府県の知事，それを越えると内閣総理大臣となっているのですが，知事と内閣総理大臣のギャップが大きいので，複数の都道府県を被災地とするようなスケールの災害発生時に，都道府県間の横の連携がうまくいかない可能性が高いことが以前から指摘されていたのですが，今回はまさにそのケースだったということ．具体的には，隣接する市町村であるが，所属する都道府県が異なるような場合に，相互にバランスのとれた対応や復旧・復興が難しいという問題です.

兵庫県南部地震の被害，阪神・淡路大震災の被災地は，当時 3,300 の自治体があった時代の 30 の自治体が被災した被害でした．全国の 100 分の 1 の災害ということです. しかし東日本大震災は，平成の市町村の大合併によって，約 1,750 になった自治体の中の約 240 が被災しています．全国の 10 分の 1 以上のスケールの災害ということです．ただ，今回の被災地は幸いにして人口密度は低い地域であったので, 被災人口としては被災エリアの割には少ないと言えます.

これが，今，私たちが１番心配している首都直下地震や東海，東南海，南海地震の連動などを対象にすると，人口規模では軽く 5～10 倍ぐらいのスケール，東海，東南海，南海地震の３連動イベントでは被災自治体数も優に２ー３倍になり，状況がかなり違うことを認識しておく必要があります.

次に揺れによる被害ですが，これは記録された加速度記録の大きさや継続時間の割には，相対的に小さかったといえます．地震の揺れと建物や構造物の被害を議論する上では重要なパラメータが３つあります．一つは揺れの最大振幅，二つ目は激しい揺れの継続時間、そして三つ目が周波数特性です．今回は，加速度の最大振幅は非常に大きく， 3G（G は重力加速度）もの

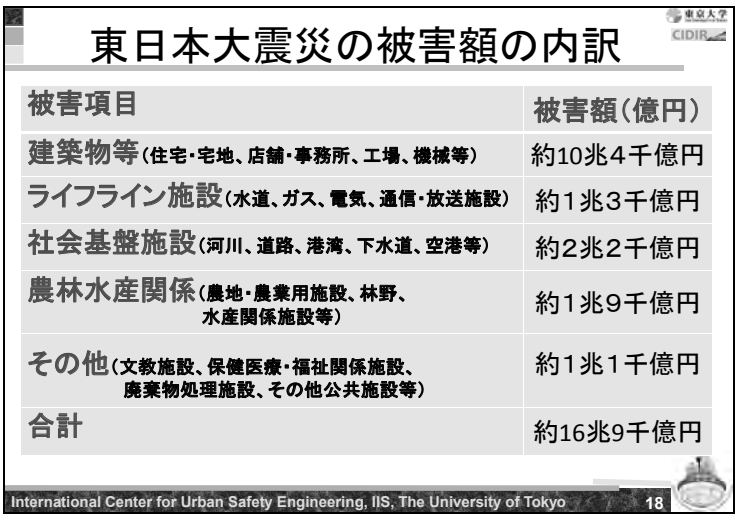
記録が観測されています．また，地震のマグニチュードが大きいので継続時間もすごく長いです．

しかし幸いなことに，周波数特性が建物にとって有利でした．0.5 秒前後のパワーはそれなりに大きいのですが，構造物が最も壊れやすい 1ー2 秒ぐらいの周波数帯域は急激に低くなっており，この点が 1〜2 秒ぐらい非常に大きなパワーを持っていた兵庫県南部地震の地震動と大きく異なる点です．一方で受け手側の構造物も，30 年確率 99%というように非常に高い確率で宮城県沖地震が想定されていた被災地区では，インフラや公共建物の耐震補強が進んでいたということ．また木造の戸建建物などでは，雪国仕様の建物の耐震性が，次のような理由から高かったことが幸いしています．積雪荷重を考えるので柱や梁が太くなるが，その一方で積雪を屋根上に留めておきたくないので，材料としては滑りやすいトタンやスレートなどになり軽量であること．冬の寒冷な気候に備え，窓は小さめになり，結果として壁量が増えること．深い積雪や地面の凍結融解に備え，強く大きな鉄筋コンクリートの基礎を用いることが多いこと．

構造物の被害に対して，造成宅地を中心として地盤の災害が多発しました．また埋め立て地盤の液状化の問題もありました．それから，非構造部材の被害，例えば天井材などが落ちてきて，利用者がその下敷きになって亡くなるという事例もありました．

津波が及ぼした影響は，人的にも物的にも，多種多様で長期化する問題になっています．今後，どういった対策を取るべきか，ハードウエアとソフトウエアのグッドコンビネーション，ベストマッチングが必要になってくるわけですが，それらを考える上で忘れてはいけない，ハードとソフト対策がそれぞれが持っているプラスとマイナスの影響に関する話を後ほどします．

首都圏が受けた影響，原発の問題．そして，この震災が，政治，経済，エネルギー政策，幸福感の転換期になるのではないかということです．この震災の後に，急激に結婚が増えたことを，皆さんもお聞きになったと思いますが，交際中の２人の間の関係、「きずな」に関する考え方に大きな影響を及ぼしたということです．

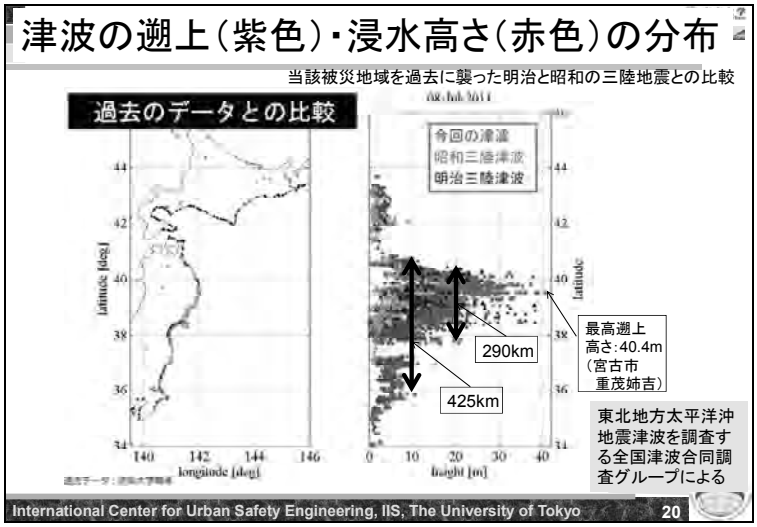


東日本大震災の被害額の内訳

被害項目	被害額（億円）
建築物等（住宅・宅地、店舗・事務所、工場、機械等）	約10兆4千億円
ライフライン施設（水道、ガス、電気、通信・放送施設）	約1兆3千億円
社会基盤施設（河川、道路、港湾、下水道、空港等）	約2兆2千億円
農林水産関係（農地・農業用施設、林野、水産関係施設等）	約1兆9千億円
その他（文教施設、保健医療・福祉関係施設、廃棄物処理施設、その他公共施設等）	約1兆1千億円
合計	約16兆9千億円

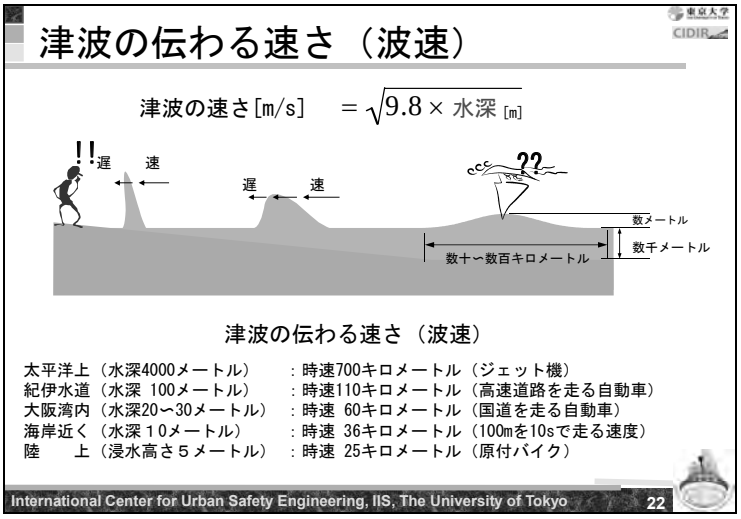
International Center for Urban Safety Engineering, IIS, The University of Tokyo 18

今回の震災の被害総額は，直接被害が約 17 兆円で，その 6 割が建物被害です．阪神・淡路大震災の場合も，10 兆円の直接被害に対して，約 6 兆円が建物被害でした．建物を除きますと，社会基盤，ライフライン，インフラ系が 3 兆 5,000 億円ぐらいの規模です．



この地震の特徴は何といっても津波です．20m 以上の浸水深，遡上高さの海岸線の範囲が 300km 近くにわたっています．浸水と遡上の差は，浸水はある時間，ずっと水に浸かっていたという意味で、英語では inundation（イナンデーション）といいます．遡上は英語では run up（ランナップ）と言い，奥部分で狭くなっているような地形で津波のエネルギーが集中して斜面を駆け上がるような形で到達した最高地点です．この浸水深と遡上高さの二つの値で津波の影響が議論されることが多いようです．これらの値が，10m を超える範囲は，海岸線で何と 400km を超えていました．

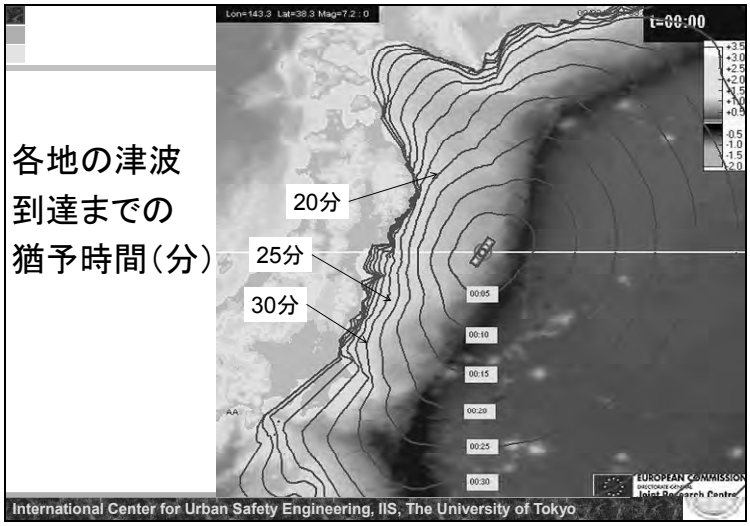
津波は,水深が浅くてもとても危険です.これは日本海中部地震の際に撮られた写真ですが,水深がわずか 50cm から 70cm ぐらいの津波で，9 人中の 8 人がさらわれてしまっています．港湾技術研究所の津波水槽で実施された実験映像等からも,水深 50cm の津波で大の大人が足元をさらわれてしまう状況がわかります。皆さんが子供を遊ばせている市民プールの水深の 50cm とはわけが違うことを強く認識していただく必要があります.



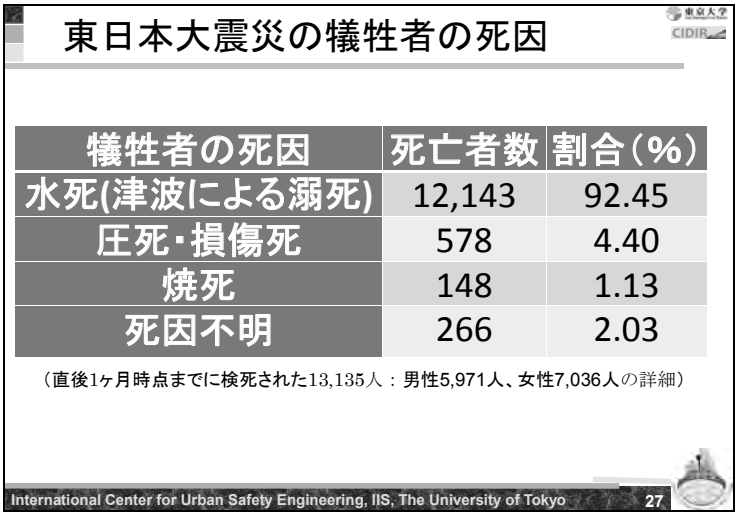
それから，津波は長波で，海の深さに対して波長が長いので，速度はルート（gH）で計算できます．g は重量加速 9.81（m/s^2）ですが，計算を簡単にするために 10 としましょう．H は水深（m）です．太平洋の平均水深は 4500m ぐらいあるそうですが，これも簡単のために 4,000(m) にしましょう．すると，津波の伝播速度はルート（10×4000）で，ルート（40,000）です．これはルートを外すと 200 になります．つまり 200m/s です．これを時速に直すには，3,600 を掛けて秒を時間にし,1,000 で割って m を km にすればいいわけです.そうすると 720km/h．時速 720km の速さになることがわかります.これは，ジェット機並みのすごく速度です．ですから，チリ沖で津波が発生すると，日本まで 2 万 km ほどの距離を約 1 日で伝わってくるわけです．今

回は逆に, 日本に東北沖の津波がチリに同様な時間で伝わったわけです.

津波が随分と岸に近いところ, 例えば水深 10m の地点まで来たとしましょう. この水深でも, 速度はルート（10×10）ですから 10m/s, 時速 36km ということです.「何だ，大したことはないな」と思われるかもしれませんが，この速度は 100m を 10 秒フラットで走りきる速さです. この速度はオリンピックの 100m 走のファイナリストの速度なので, この速度で走れる人は，この会場にはどなたもいらっしゃらないでしょうし，それもスパイクをはいて，きれいに整備されたトラック上での話です. ゆえに一般市民が, 海岸近くでこの速度で走ることは絶対に無理なので, とにかく高いところに逃げるしかありません.



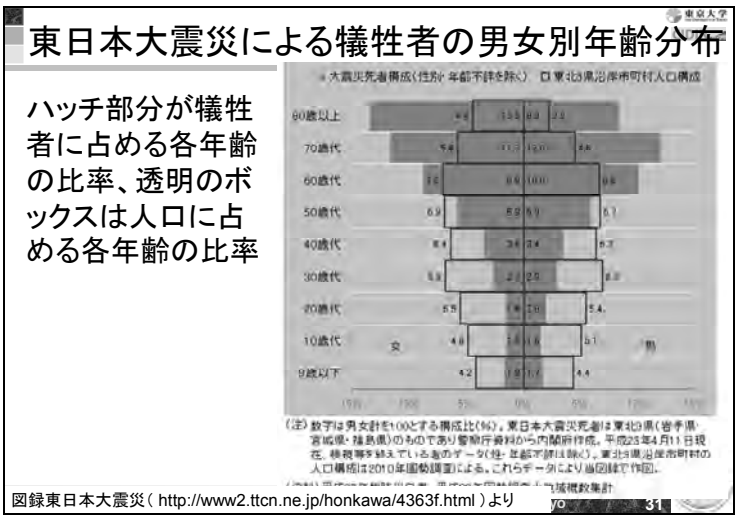
ただ，今回の津波は，真っ昼間の午後２時４６分の地震であり，地震発生から被害を及ぼすような津波が来襲するまで，少なくとも 25 分から 30 分間という時間がありました.



犠牲者の死因	死亡者数	割合（%）
水死(津波による溺死)	12,143	92.45
圧死・損傷死	578	4.40
焼死	148	1.13
死因不明	266	2.03

（直後1ヶ月時点までに検死された13,135人：男性5,971人、女性7,036人の詳細）

亡くなった方々のほとんどは津波を原因としています．圧死・損傷死という方もいらっしゃいますが，この人たちは建物ごと津波に流されて，その建物が途中で押し潰れての圧死ですから，抜本的な原因は津波と言えます.



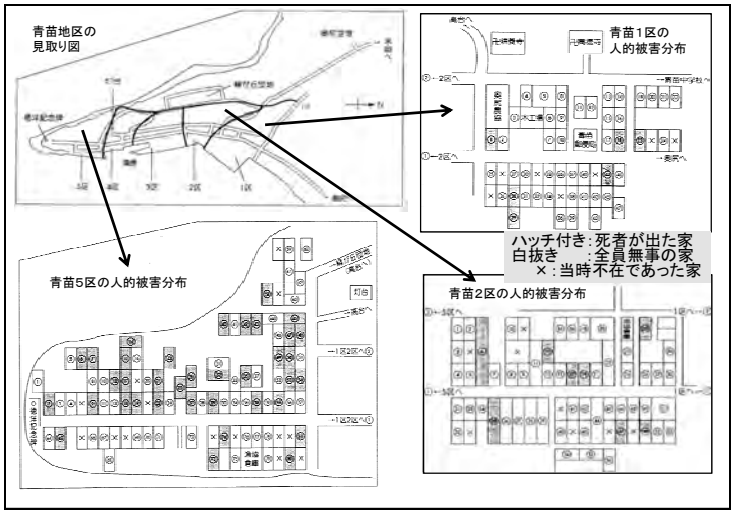
次は亡くなった方々の年齢分布です．この図は，今回，最も被災度の高かった岩手県，宮城県，福島県の海岸線の自治体の人口の各年齢の比率と亡くなった方の比率を表しています。白抜きの黒いボックスが人口で，黒のハッチがその年齢で亡くなられた方々の比率です．もしこの二つが一致していれば，年齢分別に同じぐらいの比率で津波の犠牲者が出ていることになるのですが,見ていただくとおり,高齢の方々が大勢お亡くなりになっていることが分かります.

1993 年 7 月 12 日の夜 10 時 17 分に，マグニチュード 7.8 の北海道南西沖地震が発生しました．激しい揺れと大きな津波が奥尻島を中心として襲い，被災地全体で 230 人の死者が出ましたが，その中の 200 人は津波による犠牲者でした.

この写真は，地震の前後に，奥尻島の南端を北側の上空から撮影されたものです．先端から手前へ青苗 5 区，4 区，3 区，2 区と続いています.

この地震では，奥尻島のすぐ西側に震源域が位置していたために，津波の第 1 波は，西側から奥尻島を襲います。それが地震後の 3～5 分の時点でした．当時の津波警報は最短でも 15 分程度かかっていましたので，当然，間に合わなかったのですが，それでも津波が最も早く襲来

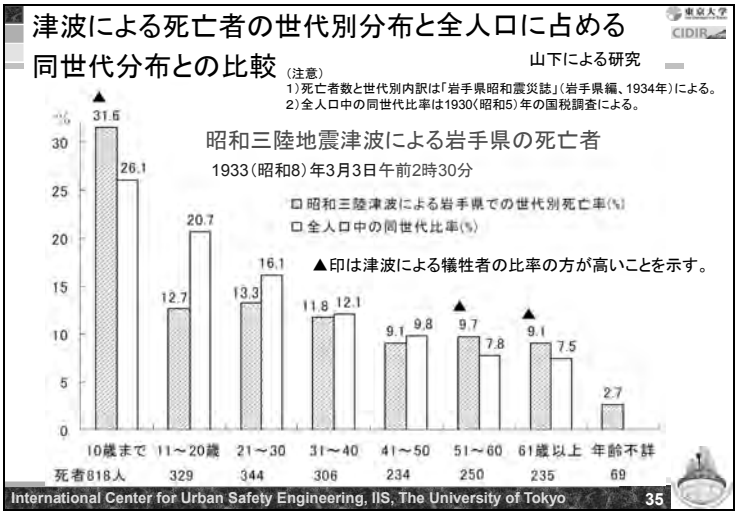
した奥尻 5 区でも，うまく逃げている人たちがいらっしゃいました．



この図は，東京大学の元新聞研究所の故廣井先生たちのグループが，震災後に青苗地区のすべての家の方々にインタビューして作られたものです．黒く塗ってあるところが死者が出た家で，白抜きのところは死者が出なかった家，×印は当日，その時間帯は不在だった家です．先端の青苗 5 区から津波に襲われたわけですが，ここでも助かっている方がかなりいらっしゃいます．

実は，この地震の 10 年前の 1983 年に，日本海中部地震がありました．真っ昼間の正午前後の地震でしたが，そのときは津波が奥尻島には 30 分後ぐらいに押し寄せました．日本海中部地震では被災地全体で 104 人の方が亡くなっていますが，その中の 100 人は津波による犠牲者でした．奥尻島でも 2 名の港湾関係者がお亡くなりになっています．この経験を有していた彼らの中で，「今回は揺れがもっと激しい．とにかく逃げないと」と早期に避難した人が助かったのです．

夜の 10 時 17 分の発災ですから，津波の第 1 波の襲来時刻は 10 時 20 分ごろです．漁師町ですから，皆さん，晩酌して休んでいらっしゃる時間帯です．このような状況下でも，うまく逃げることができた人たちが，かなりの比率でいらっしゃったということです．



今回，被災された地域は，明治以降でも３回大きな津波災害の経験をお持ちでした．1896 年の明治三陸津波，1933 年の昭和三陸津波，1960 年のチリ津波です．この図はその中で，昭和三陸津波災害で犠牲になった人々の数と年齢の調査結果です．発災時刻が夜中の 2 時 30 分であったことも影響し，多くの子供さんが亡くなっています．高齢者が多く亡くなっている状況は今回と同様です．

それに引き替え，今回は若い年齢の人たちが随分助かっているのですけれども，そこには，僕は教育の成果があったと見ています．

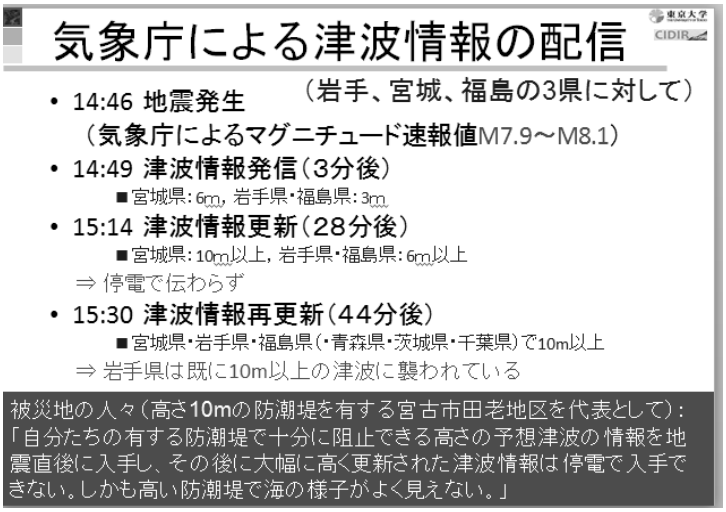
ところで，先ほど言いましたハードウエア，ソフトウエア，それぞれにプラスとマイナスがあったという話に関係する事例をご紹介します．

震度が各地の揺れの強さを表すのに対して，マグニチュードは地震そのもののエネルギーの大きさを示す指標です．これを最初に定義したのは米国のチャールズ・リヒター博士です．　少し専門的になりますが，リヒター博士はウッド・アンダーソン型地震計が記録した最大振幅（マイクロメータ）を震央からちょうど 100km 離れた場所の値に換算した値の常用対数をマグニチュードとしました。その後、地震のエネルギーを正確に表現するために、いろいろなマグニチュードが定義されました。日本の気象庁も様々な工夫を加えてはいますが，リヒター博士の定義と同様に，地震計で記録された地震動（比較的周期の短い 5 秒以内の揺れ）の最大振幅から定義するマグニチュードを採用しています．地震動の最大振幅、特に単周期から定義するマグニチュードではマグニチュードの飽和現象といって，マグニチュードが８程度から頭打ちになる現象が現れ，実際よりも過小評価する性質があります．マグニチュードが大きな地震とは，その原因である断層の破壊面積が大きいということですが，観測地点に最大振幅（特に短周期成分）を及ぼす破壊現象は観測地点に比較的近い箇所の破壊であって，遠方の破壊現象は地震動の継続

時間を長期化しますが,振幅は距離減衰するので最大振幅には影響を及ぼしません.そこで、断層の破壊現象のエネルギー料を物理的に忠実に定義するモーメントマグニチュード（Mw）が定義され利用されるようになりました.

上記のような課題があるとは気象庁も当然承知してわけですが,日本周辺でM9クラスの地震が発生することを想定していなかったでしょうし,断層の破壊現象が終了しないと定義できないモーメントマグニチュードに対して,最大振幅が得られた時点で定義できる気象庁のマグニチュードは速報的に定義する上では有利なこともあって,これを採用していたのだと思います.いずれにせよ，気象庁はマグニチュード7.9という速報値を用いて，津波の想定をしました.

日本の気象庁は世界で最も早く津波の警報を出すことができる優れたシステムを開発し,運用しています.これは先程紹介した 1993 年の北海道南西沖地震の津波災害において,最大の被災地になった奥尻島で当時の津波警報が間に合わなかったという反省に基づいて開発されたものです.気象庁は従来型の津波想定を止め,わが国の沿岸域に影響を及ぼすと考えられるマグニチュードと位置と断層メカニズムの異なる約 10 万通りの断層を対象とした事前のコンピュータシミュレーションから，地震と各地の津波の到達時間や高さの関係のデータベースを作成しました.そして実際に地震が発生した際には，その地震のデータに基づいて，津波のデータをデータベースから取り出して警報を出すという仕組みをつくったのです.これで時間の短縮化が図られました.



今回の地震時にもこのシステムによって地震の３分後には，津波警報の第１報を出しました．ただし，実際はマグニチュード9.0の地震を7.9として計算した津波の情報です．故に第１報では，宮城県に6m，岩手県と福島県に3mの津波となったのです．その後，28分後には，追加収集されたいろいろなデータ等を合わせて補正し，宮城県で10m以上，岩手県と福島県で6m以上となりました．しかし，このとき被災地では，停電が発生しこの情報を受けることがで

きませんでした．さらに地震の 44 分後には，青森から，岩手，宮城，福島，茨城，そして千葉県までの太平洋側のすべての海岸で 10m 以上とまた修正するのですが，これが出たときにもう岩手県は既に津波に襲われていたという状況でした．

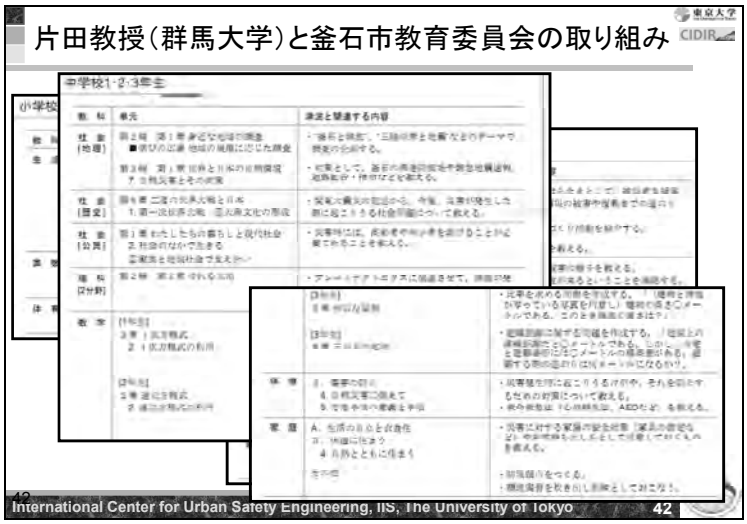
何が言いたいかというと，例えば田老町のように 10m の防潮堤を持っている人たちは，直後に 3m という情報を得たとき，自分たちの持っているハードで十分阻止できる．1960 年のチリ地震のときもほぼ完全に津波を阻止した経験を持っています．しかも防潮堤が高いから，海の様子が見えない人たちもいっぱいいた．強大なハード対策と津波の過小評価情報が，逃げ遅れた原因になっている．

これは、ハード対策の有するマイナスの効果といえます．一方で，津波に乗り越えられ内陸部が被災してしまった田老町や釜石市の強大な津波防波堤や防潮堤に対して，長い時間や巨額のお金をかけて建設した施設が全く役に立たなかったような指摘がありますが，これは大きな間違いです．次のような５つの点で被害を大幅に軽減する効果がありました．津波が防波堤や防潮堤を乗り越えるまでに時間を要することで，内陸への津波到達の時間を遅延させたこと．港湾技術研究所の研究からは約 6 分間の遅延効果があったことがわかっています．津波は海底から海面までの海水が押し寄せてきますが，防潮堤や防波堤は津波に乗り越えられたとしても海水の流入断面を大幅に小さくしていますので，内陸に流入する水量を大幅に少なくしています. また防波堤や防潮堤を乗り越えた津波は滝状になり, 速度が極端遅くなってから内陸に浸水しましたので，津波のインパクトは格段に低くなり，浸水深も遡上高も大幅に低下したので，浸水域の面積も大幅に小さくなり，取り込まれる人々の数を大幅に減らしました．さらに引き波の際に，これらの施設が生き残っていればそのダム効果から，急激な水面低下や引き波は阻止できたので, 一端津波にさらわれた人の中にも, 泳いだり瓦礫の上をたどり歩いたりして何とか岸に逃げ延びることができた人も大勢いたのです．ゆえにこれらの施設がなかった場合と比較して，大幅に被害を軽減できたわけです. これはハード対策のプラスの効果です。

次に、ソフト対策のプラスとマイナスの話をします．まず，プラスの効果です．

ここでは，釜石の事例をお話しします．「釜石の奇跡」といわれる事例です．釜石市には地震当時，小中学生が全員で 2,926 人いました．そのうち亡くなりになった子供は 5 人でした．この 5 人は，当日，学校を休んでいた子と，地震直後に親御さんに引き取られていった子でした．ですから，学校にいた子供たちは全員，助かっているのです．

この背景には，群馬大学の防災の研究者である片田敏孝教授の貢献があります．彼が文部科学省のプロジェクトの中で，釜石市で非常に効果的な教育プログラムを実施していました．それは、「避難における 3 原則」として，「想定にとらわれない，状況下において最善を尽くす，率先避難者になる」を徹底して教育しました．その典型的な成果が出たのが，この図の釜石東中と鵜住居（うのすまい）小学校です．この二つの学校は隣接しており，日ごろから防災訓練を連携して実施していました．鵜住居小学校の生徒たちは，まず 3 階建校舎の屋上に逃げようとします．しかしいつも防災訓練を一緒にやっている隣の中学のお兄さんやお姉さんたちがグラウンドに出ている．「自分たちもグラウンドに行かなきゃ」ということで，彼らはグラウンドに出ます．それで，その中学生と一緒に，もともと想定している，この青の避難予定地まで移動しようとして集まっていきます．その途中にある保育園の子供たちも一緒に連れて逃げます．最初に予定されていた場所まで逃げたら，裏のがけが崩れで危険だと自分たちで判断し，今度はより高い場所の福祉施設まで移動します．そこでも不十分かもしれないというので，最終的には，この石材店まで逃げます．逃げる途中では，後ろから津波がどんどん押し寄せてきて，この福祉施設の 100m 手前まで津波が到達します．ですから，彼らの学校は当然，当初，予定されていた避難場所にいたら，そのままやられたという状況の中で，全員がぎりぎり助かったのです．



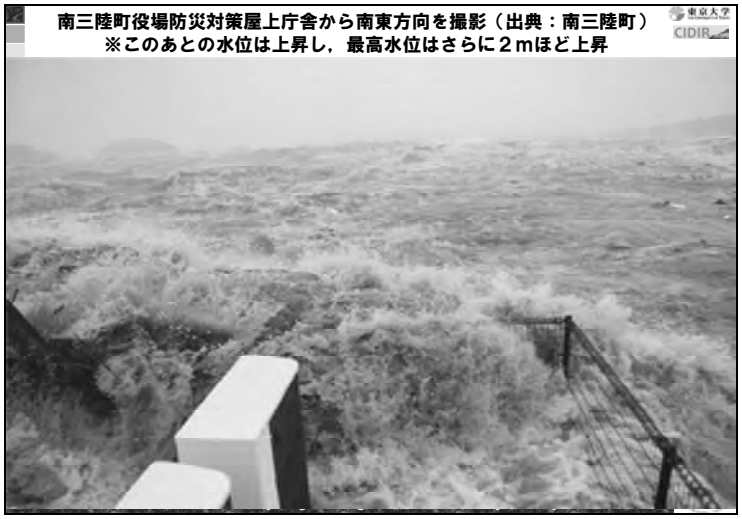
このプログラムの中で，当然，片田さんは一人で約 3,000 人の子供たちの教育はできませんから，教育委員会と地元の先生たちを巻き込みます．そして，ものすごく具体的に教育します．子供たちには，「この通学路でここからここまでの範囲で，地震に遭遇したらどこに逃げよう．次の範囲だったら，どこに逃げよう」ということを非常に具体的に実施しました．それから，地元のおじいちゃん，おばあちゃんたちに，「子供たちが来たら，一緒に逃げてください」ということを言ってまわります．そうでないと，おじいちゃんやおばあちゃんたちは，自分たちだけだったら逃げないからであり，子供を守るために一緒に逃げてくださいと言って，ご本人たちにも逃げてもらうようにしたわけです．

こういった活動を実施しながら防災について教える授業を持ちたいと努力するのですが，これはカリキュラムがタイトで，新しい時間を取ることは難しいのです．そこで，彼はどうしたかというと，他の既存の科目の中に，どうにかして防災を取り入れられないかを議論します．例えば 2 年生の算数の授業では，「長いものの長さと単位」という単元で，津波の高さを用いて問題を作ります．「津波の高さは釜石港で 3m になるらしい．では，3m は何センチですか？」　他にも，地域の歴史を勉強する時間では，地元に残る石碑を題材として学習させると，石碑には先祖の人たちによる過去の津波災害からの教訓が記されています．これを学ばせるわけです．また体育の授業では，着衣泳と言いますが，服を着せたままで泳がせ，水泳が得意な子でも泳ぐことが難しくなることを実感させると同時に，津波の高さと流速の関係などの話をします．このように，それぞれの学年おそれぞれの教科の中で，防災にかかわる教材を入れられないだろうかと議論して，テキストを作りました．こういうことを平成 17 年からやっていて，平成 23 年に釜石の奇跡を生んだわけです．

今から津波災害の写真で私が特に強い印象を持った写真を 2～3 枚お見せします.

これは南三陸町の役場で，防災拠点になるはずだった建物です．この写真からはこのビルは３階建ての赤っぽい色のビルで，周囲には何も建物はないように見えます.

津波が襲ってくるので，皆さんどんどん上の階に上っていって，最終的に屋上まで避難されます．当時 40 名弱ぐらいの関係者がいらっしゃいましたが，最終的には数名を残して，屋上まで到達した津波によって流されてしまいます．そのような状況の中で，1 人の職員の方が屋上のタワーに登って助かりました．その方がタワーにしがみついた状態で撮影された写真が残っています．この円で囲んだ場所の白いボックスやタワーを覚えていてください．その横には壊れた手すりがあります．撮影されたものはこの写真です.



すごい状況であることが一目でわかります． 当たり前ですけれども，全面にこの高さというか深さの津波が襲ってきたわけです．この後に，さらに約 2m ほど津波が高くなり，多くの皆様が流されてしまったわけです.

東日本大震災の前は，津波の際は近くに高台がなければ，鉄筋コンクリートの 3 階建て以上のビルに逃げ込み屋上まで避難してくださいと言っていたのですが，今回は，それでは足りない場所が沢山ありました.

この写真は陸前高田市の RC5 階の建物ですが，5 階まで上がってみると， 5 階でもおよそ 1m の浸水の跡が残っています.

それから，従来は重量構造物が津波によって転倒する事例はほとんどなかったのですが，今回は複数の地域でこの現象が発生しています.

これはその事例で，女川町での基礎杭を持った４階建て重量鉄骨造が転倒した事例です．杭を打っていた建物の杭が引き抜けたり，杭頭がちぎれたりして転倒している事例です.

次も女川の事例です．津波の際には，「この丘の上までに逃げろ」となっていた場所ですが，この丘の上に行ってみると，自動車がぷかぷかと浮いている．ここで丘の上でも 1.5m ぐらいの水位になったことがわかります．

それから，津波による延焼の拡大です．津波で被災して火が着きやすい状態になった建物やがれきとガスや油が一緒になって火元になりました．それが浮いている移動しますので，あちらに行ったり，こちらに行ったりして，手を付けられず焼けるがままの状態になりました．

次は地盤災害です．建物は大変立派な建物でしたが，地盤変状で被災する．もともと丘陵地だったところを切って，盛って造ったところ，あるいは切ったところと盛ったところの境界で，地盤変状が見られました．われわれの業界ではすごく有名な話ですが，もともとの地名を伏せて，新しい地名をつけて，「さあ，素晴らしいところですよ」と造成地が売り出されることが多いのですが，そういうところでよく被害が起きます．その際に，よく被害に遭ってしまう典型的な名前の地域があり，それは「緑が丘」というところです．1978 年の宮城沖地震のときも，仙台市の緑が丘で地盤変状の被害が発生しました．1983 年の日本海中部地震のときも，能代市

の緑が丘でやはり地盤変状が発生しました．1993 年の釧路沖地震も，釧路市の緑が丘でがけ崩れがありまして，その上に建っている家が崩れ落ちました．今回も緑が丘で地盤被害が発生しています．

もともとの地名は非常に大切です．「さんずい」が付いている名前とか，谷，沼，淵，新田，清水などが付いているところは，あまり地盤がよろしくないとよくいわれます．

中小の河川で「竜」とか「龍」などという名前が付いているのは，大体，土石流が発生しやすい河川です．土石流が発生して，荒れ狂う様子が，竜が舞っているようだということで，そのような名前が付くのだそうですので，要注意なのです．

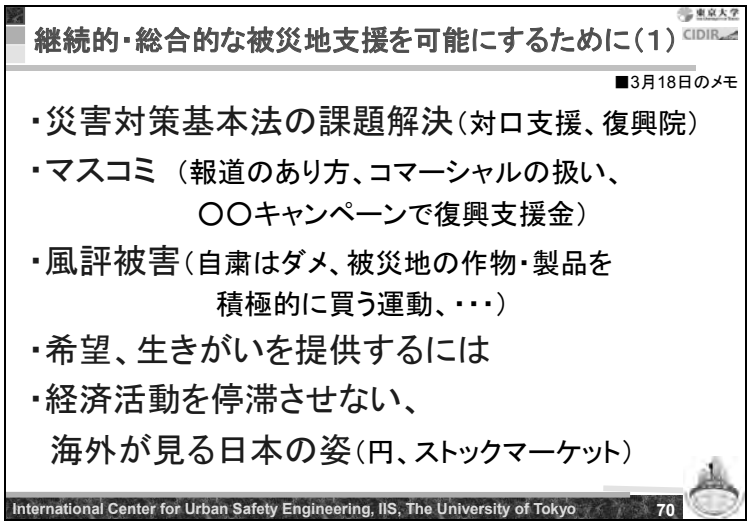
それから造成地ですが，造成した一番外側を周回道路にしているケースでは，これが壊れても何とか公的に直すことができるのですが，造成地の外側部分は，普通は景色がいいなどの理由で住宅地として使う．今回のケースもそうです．

個人の住宅地では，これが崩壊しても，これを公的なお金で復旧・復興することはできないので，この辺にも教訓があるかもしれません．

次はインフラのお話です．今回は新幹線施設をはじめ，被害も地震動の強さの割には軽微であったし，復旧も随分早かったです．理由については，すでにご説明したように，地震動の視点とそれを受ける構造物側の視点から説明できます.この地域が今後 30 年間で宮城県沖地震の発生確率が 99%として認識されていたことも重要です.

釜石のギネスブックにも載った防波堤や，田老の万里の長城といわれた防潮堤などの件については，すでに説明したとおりです.

残り時間が随分少なくなってきました．あと数枚のスライドで終わります.

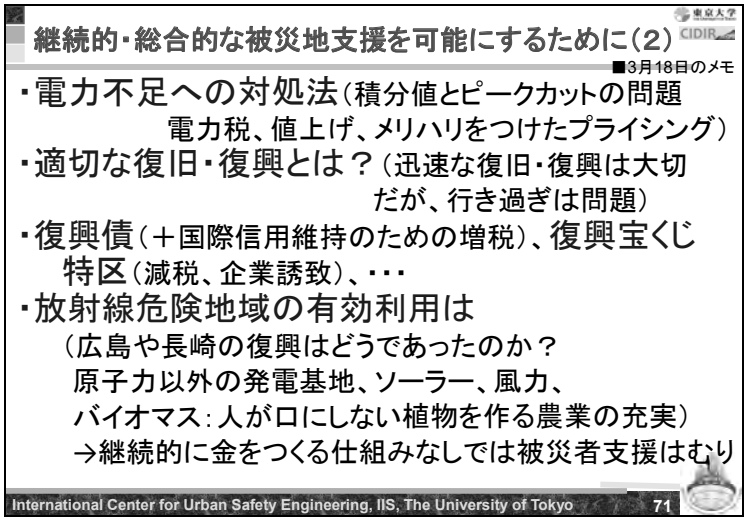


東日本大震災は，現在の災害対策基本法の想定を超える災害であり，この対応には「対口支援」が有効です．これは中国政府が 2008 年の四川地震の際に実施した方法で，被災地を A ブロック，B ブロック，C ブロックなど，幾つかのブロックに分けて，例えば「A ブロックは北京市が，B ブロックは上海市が，C ブロックは重慶市が」などとそれぞれのブロックの分担を決め，支援する市は担当するブロックのみを継続的に支援するという仕組みです．そうすると，支援する市には担当するブロックの復旧・復興に責任が発生しますので，これがいい意味での競争関係を生みます．その競争関係が，復旧・復興の迅速性や質にいい影響を及ぼします．さらには，繰り返しになりますが，被災していない人たちが，被災している実際の現場を対象に災害対応を学ぶ貴重な経験を積むことができるということです.

それから，マスコミは地震の直後はほとんどコマーシャルを流しませんでした．AC の広告だけでした．あれではいけません．コマーシャルをどんどん流すべきです．経済活動を低下させては駄目で，長期的な支援もできません．被災地に対しての配慮によるコマーシャルの自粛であったのならば，「被災地復興キャンペーン」と銘打って，「このコマーシャルの〇〇パーセントは被災地支援に使います」とやれば，申し開きが立つのです．しかしこの願いは，直後は全

く聞き入れられませんでした.

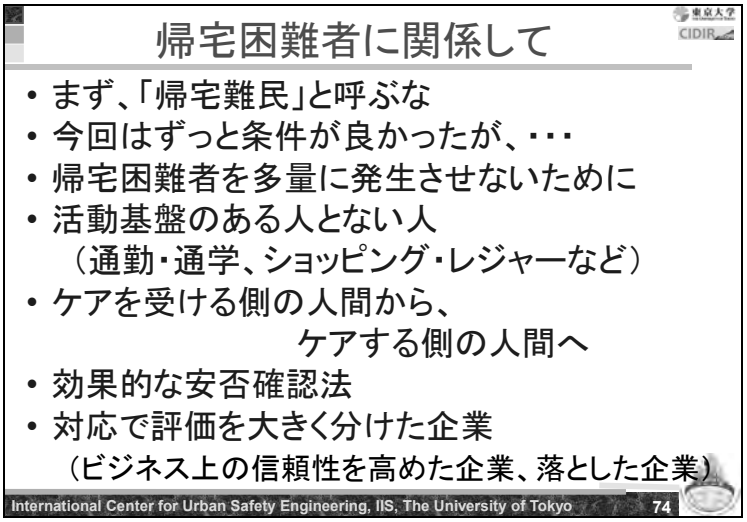
被災地を思って自粛するというのは気分的にはわかりますが,経済活動を停滞させるし,被災地の人々にとってもよくありません．例えば、東京の人たちが自粛してパーティーを中止しようが予定通り実施しようが，被災地に人々にとってはどうでもいいことです．パーティーをどんどんやって，経済を回して，その上で支援のカンパをして，支援金を被災地に送ればいいのです．日本の経済活動を見ている外国人の視点も忘れてはいけません.



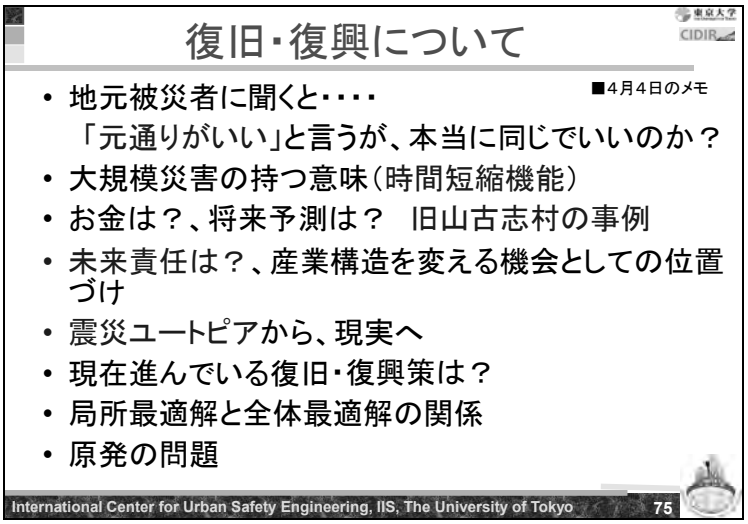
それから，電力不足などに対しても，直後は積分値の問題とピークカットの問題が混同されて議論されていました．それをまずきちんと分けるように指摘しました．それから、これは賛同を得られなかったのですが，私自身は電力税の付加とか電気量の値上げを検討して欲しい旨を伝えました.理由は,これによって,あまり必要のない電力使用の抑止効果を狙ったことと,それでも収益が上がれば，それは東京電力のためではなくて，被災地の支援に回すということを前面に出せば,どうしても使わなければいけない人たちも,申し開きがつくという意味です.

さらに適切な復旧・復興と迅速な復旧・復興はイコールではないという話もしました.阪神・淡路大震災の被災地は毎年 2 万棟の建物をスクラップアンドビルドする環境の下で，安定的なシステムが成立していた地域です．しかし兵庫県南部地震の強力な地震動は，被災地で 20 万棟の建物を再建しなくてはならない状況をもたらしました．しかし地元では年間 2 万棟の建物しか建てられません．当時は，どのように復旧・復興させるのが適切なのかもわからず，とにかく迅速に，早く建物の再建を進めたわけです．結果として，被災地外から工務店やゼネコンが来て，約 2 年半で 20 万棟を再建しました.「思ったよりも早く再建できてよかった」という声の一方で、地元の人たちから見れば，10 年間分の仕事が無くなったわけですから，倒産するしかなくなるわけです．この状況は，復旧・復興として適切だったのでしょうか．事後対策のお金は高いストレスの中で準備するわけですが、被災地内の経済に貢献しない特徴を持つのです.

以下，3 月 18 日の時点で，次のようなことを申し上げました.放射線危険地域の取り扱いの問題については,「危険だから近づくな」だけでは，いつになってもその地域からお金を生まないし，復旧・復興もないわけです．原子力以外の発電基地としての可能性の議論，バイオマス植物など風評被害の対象にならない人が口にしない農作物を育てる農業の育成，原子力爆弾で被爆した広島や長崎の復旧や復興のレビューの実施などです.



地震の当日に問題なった帰宅困難者に関しては，まずはマスコミに「帰宅難民」と呼ばないようにお願いしました.「難民」呼ばわりした瞬間に,他からの支援がない限り自立できない人々という意味になってしまいます．彼らは帰宅しようとする場合に困難に直面する人であって，帰宅しようとしなければ困難の程度はそれほどでもない人たちです．しかも被災地内に活動できる人材がまとまって存在しているという意味なので，家族との安否確認さえできれば，被災地内に留まって災害対応できるわけです．ゆえに，首都直下地震時の 650 万人の帰宅困難者対策においては，帰宅困難者をその属性に応じて分類し，被災地内に活動拠点を持つ通勤者や通学者には，支援を受ける側ではなく，災害対応に当たる側の人間として貢献してもらえる環境整備を進めることが重要です．一方で，たまたま買い物に来ていたとか，遊びに来ていたという人たちに関しては,例えばデパートやアミューズメント施設が,彼らの顧客である帰宅困難者に対してうまく対応するか否かで，その後のビジネスチャンスやビジネス上の信頼性を大幅に向上できるチャンスにもなるとずっと言ってきましたが，まさにその状況が生まれました.



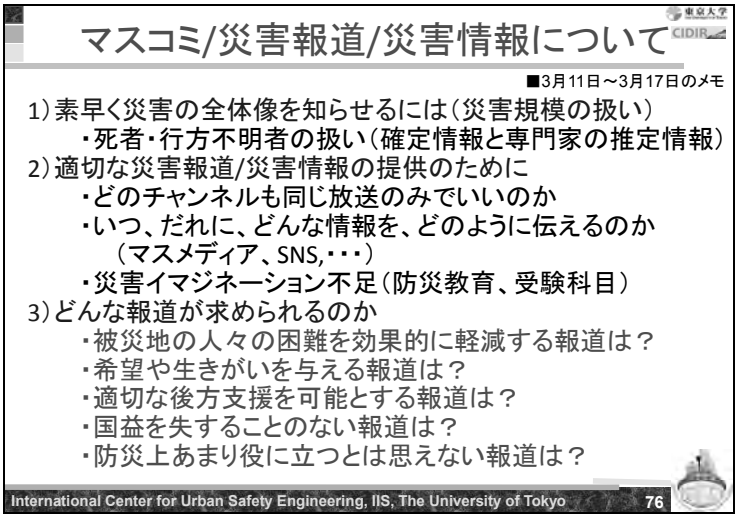
それから，復旧・復興に関して，被災地の皆さんに尋ねれば、「元どおりがいい」と多くの方々がおっしゃるけれども，大きな理由はそれしか知らないわけです．他の地域や事例を知らないからです．繰り返しますが，大規模災害は，その地域が時間をかけて直面する状況や問題を，時間を短縮して、また程度を強調して見せつける効果を持っています．ですから，被災地でいろいろと顕在化している問題は，地震や津波による災害があろうがなかろうが，もともと存在していた問題が，より強く顕在化しているということです．なので，2011 年にやられた町を 2011 年仕様で再建しても，明るい未来はないということです．

1923 年の関東地震の後に，後藤新平のリーダーシップがなく 1923 年当時の東京の町を再建したら，その後の東京はどうなったかと同じことです．大きな被害が発生しなければ，従来の延長上には実現が難しかった新しいまち，すなわちそれまでに地域が抱えていた課題，例えば将来性が乏しかった産業構造をうまく変え，魅力あるまちを再建することが大切です．

おじいちゃんやおばあちゃんは「元とおりでいい」とおっしゃるけれども，被災前の状態が本当に、孫やひ孫らにとってもいいまちだったでしょうか。おじいちゃんやおばあちゃんが、もとの街でよかったと思う部分はどこですか、その部分であれば，元と違うまち、孫やひ孫らにとっても魅力的なまちでも実現できますよ，という新しい復興構想を専門家たちが提示していくことが大切だと思います．

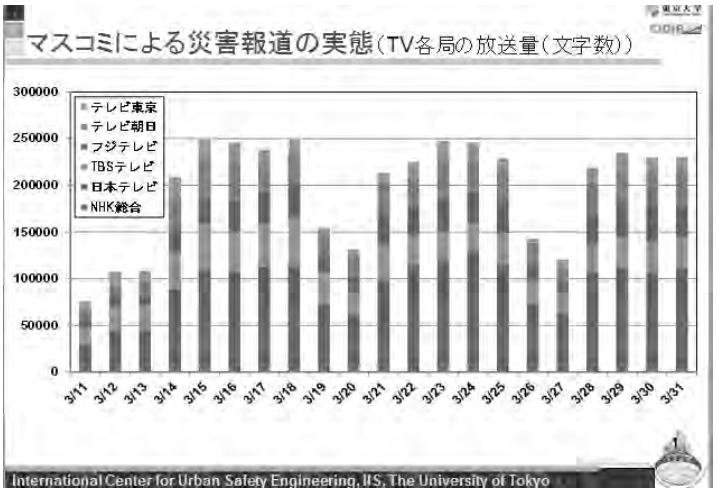
新潟県中越地震の後に，当時人口 1,200 人の旧山古志村に対して，復興予算が 600～700 億円使われました．村人たちがもとの地域に戻って暮らせる状態にするために，一人当たり 5,000～6,000 万円の予算を費やしたのです．4 人家族だったら 2 億数千万円です．これは本当に適切な復興だったのでしょうか．復興した村に戻る人たちの数は震災前よりも減りましたし，本当に村の将来は明るいのでしょうか．もちろん頑張っていらっしゃる方もおられますが，全体の人口はどんどん減り，再建したインフラの維持管理は地元の人々の肩にのしかかってきます．

未来責任を果たすことのできる被災地復興のあり方を慎重に考える必要があります.



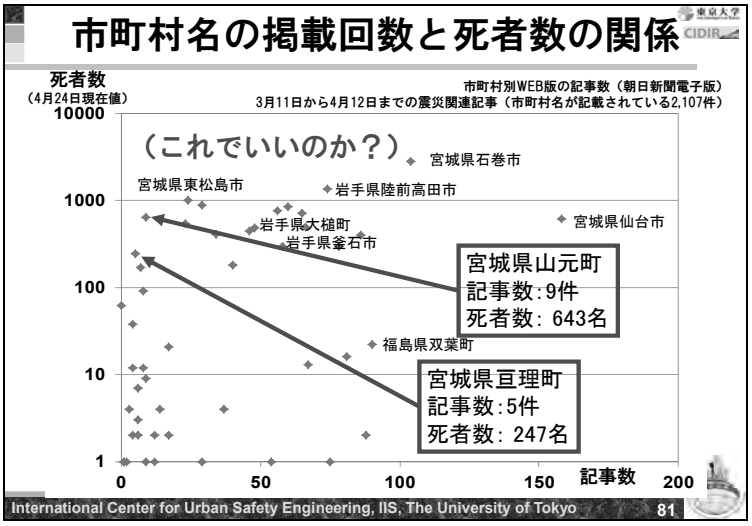
マスコミもしかりで，いつ，誰に，どんな情報を出せば，その情報を使って，どんなふうにして，今の苦しい状況を変えられるのかという災害イマジネーションがない. 結果として，その情報をもらっても活用法がなかったり，現場を混乱させたり，国益を失してしまうような報道であったりしました. またどこも皆，同じ情報ばかりで，災害の全体像が見えないなどの問題がありました．皆さんもお気づきになったと思いますが，あるタイミングでは，どのチャンネルを見ても全てに枝野さんが出ていて同じことを言っていたでしょう. 報道の自由は最大限尊重されるべきですが，報道関係者が自発的に，事前に協定等を結び，地域分担とか項目分担などを行えば，もっと早い段階から災害の全体像の把握も可能になったと思います.

このような問題意識で報道を様々な角度から分析しているのですが，その中の一つだけをお示しして私の話を終わります.



私の研究室では，テレビのキー各局と大手新聞（一部被災地内新聞）を対象に，各報道機関がどんな報道をしたかを分析するために，全ての報道内容をデータベース化し，各報道機関が

いつどんな報道をしたのかを分析できる環境を整備しました. 結果を見るとテレビ各局の中では， NHK 総合が時間別では一番災害報道をしていました.



では分析結果の一例をお示しします. このグラフの横軸は, 被災地内の各市町村が震災発災からのある一定期間内に, テレビや新聞で何回報道されたのか, その回数をプロットしています. 一方縦軸は，その時点までに各市町村で何人の死者・行方不明者が発表されていたのかを表しています. グラフを見ると, 多くの方々がお亡くなりになっているにもかかわらず, マスコミではほとんど取り上げられていなかった地域がいっぱいあったことがわかります. このような地域は，直後の救命救急から始まって，救援物資や義援金，支援のボランティアが集まりにくかったなどの問題が生じました.

現在は､災害の全体像を直後からバランス良く報道するとともに､現象を先取りしたうえで，減災活動を誘導できるような報道をどうすれば実現できるかを検討しています.

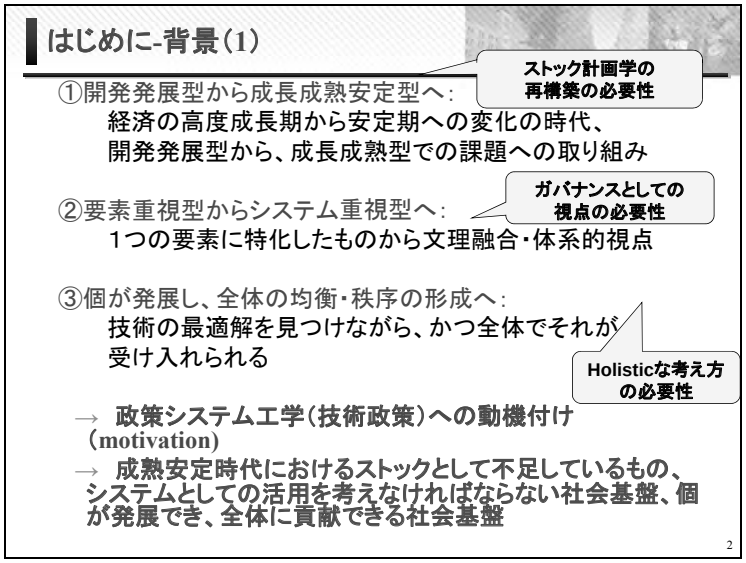
ちょっと時間が超過しましたので，ここで終わりますけれども，今回の東日本大震災の教訓を踏まえて，今後の町を考えるときには，津波の問題はもちろん大切ですけれども，それ以上にやはり建物の問題，揺れの問題をちゃんと考えて，私が冒頭で申し上げたような新しい制度設計をしていただくことが重要です. そうしないと, 今度は揺れの被害でまた足元がすくわれてしまう状況に陥ってしまいます．では，私の話はこれぐらいにさせていただきます．どうもありがとうございました.

5. 持続可能な都市基盤整備計画の方法と適用

加賀屋　誠一（北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学部門・特任教授）

今日は「持続可能な都市システムの構築を目指して」というタイトルをいただいたとき，どんなお話をしたらいいかといろいろと考えたのですが，10 年来，やってきたことを少しお話ししたいと思います。ベーシックな話になるかもしれませんが，よろしくお願いしたいと思います.

私の話は，七つぐらいに分けられています．すべてお話しさせていただきたいのですが，時間の関係上，ところどころスキップをする可能性もありますので，ご了解いただきたいと思います.



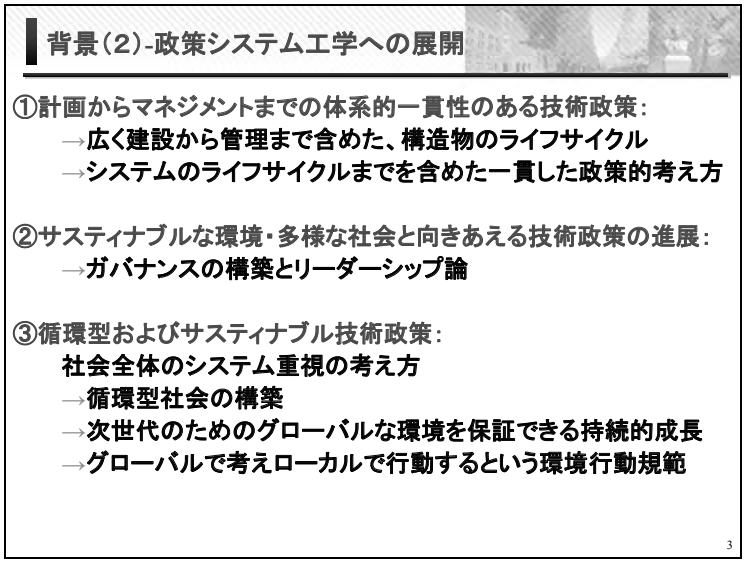
これは皆さんがよくご存じのことですが，今，われわれの社会がどういう社会かというと，

開発発展は終わり，成長成熟安定型となり，特にわれわれの分野からいうと，ストックをどういう形でこれから考えていったらいいか．すなわちストック重視型，あるいはストック計画型の考え方が必要だということが１点です．

次に、今まではどちらかというと工学のある要素をとことんまで突き詰めて，いい技術を出そうという考え方が非常に重要だったのですが，これからはもう少しそれをうまくつなぎ合わせた考え方，システム重視型の考え方が必要ではないかと思っております。すなわち、ガバメントより，むしろカバナンスが必要だということです．これは先ほど目黒先生のお話にもあったように，市民参加型によって，ハードとソフトを組み合わせた形で物事を議論していくかということが大事なポイントになると思います．

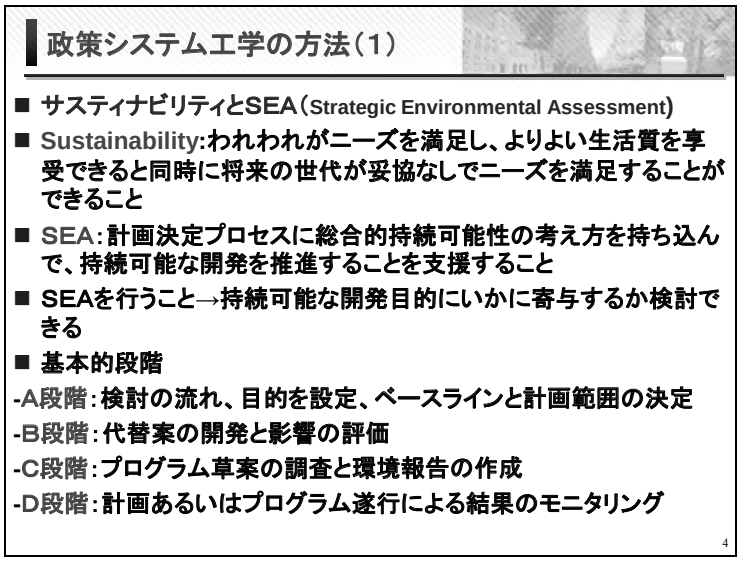
三番目に，個が発展して，全体の均衡・秩序の形成をしていく方向が，これから重要です．個が押さえられて全体だけで考えていくという社会は,これからはあまり発展していきません．われわれはできるだけ自分の力で，例えば、災害対応でいうと自助の部分ですが、それをどのくらい発揮し，また発展させることができるかです．しかも全体の均衡と秩序の中で，それを歩み続けさせることが大事な考え方で，これを私はHolisticな視点と言っています．

この三つをまとめた形で，これから何をおこなうべきかといった考え方，すなわち政策システム工学という考え方が必要になってくると考えています．成熟安定時代におけるストックとして，本当に不足しているものは何か．システムとして活用を考えなければいけないものは何か．あるいは個といったものが発展できて，全体に貢献できるような社会基盤はどういうものなのか．こういったことを，これから考えていく必要があると考えています．



具体的に政策システム工学となると，先ほどの３点を踏まえた形で，計画からマネジメント

までの体系的一貫性のある技術政策の構築．そして，よく言われるサステナブル環境と多様な社会と向き合える技術政策の進展．それから，循環型サステナブル技術を包含した社会全体のシステムが，必要になってきます．これらを率直に議論して，具体的な計画にまとめていくことが必要になってくると思います．



政策システム工学の中で，私が特に重要だと思うのは，もちろんサステナビリティという考え方が根幹になっているわけですが，それを具体化するものについて何が必要かということです．最近，SEA（戦略的環境アセスメント）という考え方が，特に欧米，ヨーロッパを中心に普及しております．この思想や哲学といったものを，政策システム工学の中に取り入れていかなければいけないというのが私の考え方です．

サステナビリティはいろいろなところでいわれていますので，説明はよろしいかと思うのですが，簡単に言うと将来の世代を妥協なしに，今のニーズを満足することができるかといったものであるといえます．これがわれわれにとって大切にしていかなければならないことだと思います．そのためには，この SEA をどう活用していくかということを，今までいろいろと検討してまいりました．

基本的に SEA は，従来型の事業アセスメントのように，いわゆる事業があって，それに対して環境の影響はどうかという形で評価するものではありません，計画アセスメントという概念を持っており，われわれの計画の中に環境を取り込み，それらを，同じステージで議論していこうという考え方です．ですから，環境もさることながら，今日の議論になっています災害や防災も，この考え方にフィットする考え方ではないかと，私は今のお話を聞いて考えさせられました．

基本的な段階は四つの段階で，これは後でまた紹介しますので，省略させていただきます．

戦略的環境アセスメントは何か．これは簡単に言いますと，提案された政策，計画，事業プログラムの各段階で環境面も同時に評価する，体系的なプロセスと定義されています．これは，政策をきちんと作らなければいけない．それに基づいた計画もやはりきちんと作らなければいけない．具体的な事業プログラムをそれに基づいて作っていかなければいけない．すなわちこういう 3 段階の策定プロセスを，いかにうまく作っていくかということが戦略的環境アセスメントの考え方です．

しかも，意思決定のできるだけ早い段階で，いわゆる経済的，社会的ないろいろな問題と環境問題を同時に，同じステージで議論していくという考え方で，やり直しやフィードバックをおこないながら政策まで戻って考えることができるというプロセスです．ですから，今までの事業アセスメントに比べますと，後戻りができるということで，非常にフレキシブルなものの考え方ができます．

今までの考え方は，やはり経済が一番大枠にあって，その中で社会がどう取り込まれ．生態系システムが取り込まれるのかということでした．しかしこれからは経済が社会にどういう役割を果たすか，また社会が生態系の中でどう位置付けられていくのかを踏まえた，ガバナンス主導型のやり方をおこなっていくことが重要で，それが SEA の一つの根本的な考え方だと，私は理解しています．

こういうことで，政策，計画，事業プログラムというプロセスを，いかに総合的かつ相互作用的に作っていくのかということが重要です．それから，代替案をどういう形でその中に織り込んでいくかということで，その選択により，分かりやすい答えを出すことができます．政策は，基本的には行動の動機付けで，われわれは特にインフラストラクチャーの計画をどういう形にするかといった，ガイドラインを示すものです．計画はある年度を設定して，その中でどのように，その政策を遂行して達成していくかという考え方です．事業プログラムは具体的な整備プロジェクトをどう作っていくかということです．

都市における持続的成長指標の評価が次に出てくるわけですが，簡単に言いますと，環境容量と生活の質の要素がいろいろな形で絡み合って，それぞれの指標の達成度と，その指標間の重視度という形で総合評価をしていくというやり方です．これはわれわれが工学的に考える技術的最適解と，社会的に受けられる社会的最適解がどう融合させるかということであり，この達成度と重視度がそれぞれに対応します．ですから，簡単に考えると，重み付けの総合評価の考え方になります．

その辺を詳しく説明したいのですが，時間もありますので，簡単にお話しさせていただきます.

環境容量と生活の質はヨーロッパなどでは非常に普及している考え方で，キャリングキャパシティーとクオリティーオブライフに属する項目を幾つか設定して，それを総合評価していくというやり方を考えます.

また私どもは，こういう形で成長評価指標を独自に提案させていただいています．この評価で都市がどういう位置付けにあるのか．例えばそこに大規模な住宅が立地された場合，あるいは逆に今回のような自然災害において被害が起きた場合，どう成長評価指標が変化していくのかをモニタリングできるシステムです.

先ほどの考え方で，項目要素の達成度と各項目要素の重視度の二つを総合化した考え方で，いくつかの方法があると思うのですが，もっとも簡単な方法は重み付けのやり方です．ここでは総合評価の方法としてファジィの積分を考えております，その中で Choquet 積分が，相乗効果，相殺効果が検討でき，そのシステム評価としては有効だと考えております．用いられる測度はファジィ測度であり，入れ子の考え方である単調性だけの条件で，いろいろな形の指標を評価できると考えた方法です．基本的にはこのような達成度．これは技術的にわれわれがどこまで達成できるかがポイントです.

それから，こちらが社会的評価である相互間の重視度です．このことから，技術的な評価と社会的な評価をつなぎ合わせて，最終的に総合的な評価をおこなうことになります.

それはいくつかの都市で，例えばベースラインのデータを使って，最終的には，例えばある住宅団地を実施したときに，どのくらい成長指標評価が変化していくのかというところを見ていく方法の適用を考えています.

さて，こちらの図を，説明したいと思います.

この図は、国土交通省が提案した構想段階の計画プロセスというものです．今こういうプロセスをベースにして、様々な実際の計画づくりをおこなっております。

ここでは上位段階，構想段階，詳細設計という三つの段階を踏んでいますが，これは SEA でいくと，政策の段階，計画の段階，事業の段階に対応します．こういう形で国土交通省も SEA を踏まえたものの考え方を取りはじめたと私は考えています.

道路事業の場合は，こういうある点とある点を結ぶ考え方が基本ですが，それにはどういう代替案を作ったらいいか．また代替案で最適案が決まったら，詳細設計をどう考えるべきかという 3 段階のやり方が必要です.

河川も同じように，河川で改修をやらなければいけない．そしてダムにするか，遊水池にするか，河川改修にするか．そういういろいろな代替案を使って，全体の改修を考えてみたらどうか．その後詳細の設計をやるという段階で，基本的に SEA を踏まえた方法をとっていくことが最近の考え方です．

以上が基本的なやり方で，行政がいろいろ考えて，最終的に計画を設定していく．その間に住民の参加をいかにしていくかという形のプロセスを取る形となっております．

もう一つの流れは，技術専門的な検討を同時にやっていくという形で，全体プロセスの構造を作るというやり方が政策策定のプロセスの体系です．

私どもは 10 年ぐらい前から，政策と計画と事業プログラムという計画策定プロセスを考え、それを試験的に導入しております．あとは分析をこういう三つのステージで段階的に考えるというやり方でやっていけば，あまりぼたんの掛け違いがないような計画づくりができるのではないかと考えています．

すなわち，計画実行段階，コミュニティー参加の過程，計画支援の過程で，行政と一般市民の考え方，それからサポートする，コンサルタントや学識経験者の考え方を入れるというやり方，もう一つは政策と計画と事業計画の流れで進めていく方法でやっていけば，計画策定に対応できると考えています．

ここではいろいろな支援技術があって，それをその都度用いながら，われわれは前に述べた計画策定プロセスの考え方を実行していきます．

事例を二つ用意させていただきました．

一つは河川の環境整備で，これに先ほどのような計画策定プロセスをいかに適応していくか．環境整備ガバナンスという考え方を実行していきました．

基本的にはかわづくり（河川整備）における住民の意見集約技術もまず考えなくてはいけません．河川と地域が一体となって計画づくりをする機会が増えます．河川流域における環境共生を考えるパートナーシップを構築する必要性があります．それから情報公開，シミュレーションによって，地域住民が状況把握の理解を深めるということで，ワークショップでこういう計画づくりをしていくことを考えていきました．

対象としては，十勝の中流の相生中島という地区があります．その地域は都市の中でも自然環境が非常に豊かなところで，河川改修を全面的にやって，自然を損失することは，極力避けなければいけないという，一つのトレードオフの問題があります．そういうことで，ワークショップの中でいろいろ考えていきました．

基本的な流れとしては，前述したように構想段階，計画段階，具体的な代替案の評価という形で，進めていきます．代替案の総合的な評価は，先ほどの Choquet 積分で，いくつかの要素を総合評価して，整備案をします．そして，それが実現した場合に，どのくらいわれわれに便益が生まれるかということが，次の段階です．当然，その便益に対する費用がどのぐらいかも併せて考えます．最終的には，その代替案をビジュアルな形で表現し，いわゆる事業プログラムとして，どういう形のものを作ったらいいかということを考えていきます．

これが対象地域で，十勝川と札内川が合流した地域です．そのちょうど合流点の上流が相生中島という地区です．帯広市と音更町で，この辺は河川が蛇行して流れていますので，水が出てきたときには，非常に水はけが悪くなります．それゆえ，基本的にはこれをまっすぐにすれば，河川整備としては最適な方法ですが，ここに自然環境の豊かなエリアあるので，なるべくインパクトを少なくして，それを生かすような考え方を取れる方法はないかということが，政策課題として出てきました．

実際には平常時はこのように存在するのが，相生中島地区です．こちらは洪水時の流れで，やはりかなり水につかっている状態が分かると思います．それと同時に，帯広市や音更町は，洪水の影響を受けることが懸念されるので，どう対応していくかという問題もあります．

われわれの考えた計画代替案として，五つの考え方を取りました．これをいろいろな形で，先ほど言ったやり方で，どのぐらい様々なファクターが達成されていくかということと，それぞれの評価要素について重要度を考えていくかということで総合評価をおこないました．詳しいことはちょっと省かせていただきます．

結果的には，こういう直線中水敷掘削方式が，達成度と重視度を考えた場合の多基準分析の結果で出たベストとなりました．

次に行ったのは， CVM で，実際にもしそういう事業が出てきた場合，それに対しどのくらい支払うことができるかということで，市民への意識調査をおこないました。それを基に、環境整備のための河川づくりを，どの程度評価してくれるかを検討しました．

こういう形で，結果はまとまりました．例えば所得が多い人は少ない人に比べて，支払額が高くなるのは当然であることが結果として得られました。

平均した場合に，約 39 億円の便益が生まれます．これはあくまでも実際に支払うわけではなくて，支払いたいという意思を聞いたもので，これをそのまま便益にするかどうかは，またちょっと議論の余地があると思います．事業費の想定額が 15 億円で，この支払意思額をベースにした場合には，費用対効果がある程度，有効であることがわかりました．

それが終わった後，今度は事業プログラムとしてわれわれが考えているのが，実際に中水敷掘削方式は，こういう部分を浅く掘削するのですが，そこの中で，例えば岸辺の部分をどうするか．水路の部分をどうするか．あるいは池のところをどうするか．また，中に入る道路をどうするかという要素について，実際の絵を描きながら評価をしていただきます．

こういう形のそれぞれ二つの水準で評価して見ていきます．

結局，どういうものに関心があるか．これも Choquet という分析で行った結果です．

一応，水路部の樹木は皆さん，非常に関心が高い．道路についても関心が高い．これをどうするのかという議論があったところが出てきています．

部分的な効用で，例えば岸辺河畔林，水路部樹木，水路部の池，岸辺部の道路という四つの効用の中で，近自然工法と従来の工法でどちらがいいか．近自然工法で，あまり自然をいじらないやり方がいいというデザインを考えなければ結果が出ました．

幾つかのデザインを，先ほどの組み合わせで評価してもらいました．このプロファイルを使って，どれがいいか．できるだけ現状の自然を維持する方法が選好されました．その結果，そのデザインをベースにして，今，この相生中島の河川改修を進めています．

これが SEA を使った一つの考え方です．まだちょっと具体的には，細かいところは絞りきれていない部分もありますので，その後の市民参加の指針として，NPO により，議論を進め，現在、行政がどういう形で対応していくかという相互のやり取りが行われております．

こちらの図は市民が作った案です．このような図を利用して，できるだけお互いに調整できるようなものの考え方を取りながら，進めていくのがこの方法です．

もう一つは、都心交通計画への適応で、この問題は札幌市の都心部をどうするかということです。私はできるだけヨーロッパの町に近い町を札幌に作りたいと思っております。

都心の魅力の向上，環境負荷の軽減をするために，快適な歩行環境と自動車の円滑な走行が両立するようなやり方が政策としては必要です．

具体的にどうするかということで出てきた一つの大きなポイントは，トラフィック機能とアクセス機能を設定し，それぞれ車が使える道路と歩行者が使える道路として，ある程度めりはりをつけた都心の道路を，考えていく計画の概念が準備されました．おおむね 10 年でこの整備を行いたいということで，現在、既にこれを開始してから 6～7 年たっていますので，そろそろ時間切れになって，また新しい計画になるかもしれませんが．

そういうことで，その後，この考え方を中心として研究を続けており，様々な調査をやらせていただいています．事業プログラムとしては，市民の評価と環境負荷の解析を行って，その

可能性を探っていく方法を取ってきております.

実際には大規模なワークショップを実施して，トラフィック機能とアクセス機能の両方を使い分ける都心交通システムに対する市民参加システムを作っていこうということです.

未利用エネルギーを利用した無雪都市の実現も，同時に考えていく必要があるという考え方も現れています．都心再生を考える場合は，その生活の場とする市民がどういう考え方を持って，どうそれを具体化していくかということが必要で，幸いにもこの考え方に同調する市民が多いことは後でお見せします.

トラフィック機能がどちらかというと，道路の各機能による分類として，できるだけ車がスムーズに通るような考え方です．一方アクセス機能は車をある程度締め出し，公共交通以外はできるだけ制限するように考えていくことです．そして，町全体としてあまり渋滞等を起こさないような配慮をすべきだという考え方です.

トラフィック機能重視道路の場合は，いろいろな特徴をこのように表しています．特に駐車禁止の徹底をおこなうことが非常に大事な考え方です．これがなければ，確実に車線を完全に使うことができないので，徹底的に守っていくシステムを作っていくことが必要です.

一方，アクセス機能重視道路はバスやタクシーを中心としたトランジットモードの考え方を導入し，できるだけ歩道も広くして使いやすくします．こうしたことによって、ヨーロッパの町に非常に近い形，またその都心に近い形になります.

こういうものをどう受け入れられるかということで，都心部の魅力を，利便性，にぎわい，豊かさ，安全性という四つのポイントで評価していただきました．しかも，現状の魅力と，そういった条件で整備したときの魅力がどのぐらい違うかという比較をおこなうことで総合評価をおこなう考え方です.

大体，現状と，整備後を比較すると，2.5～2.6 倍で魅力度が増していきます．特に安全性への改善効果を大きく評価しております。これはアクセス機能とトラフィック機能で機能が分担されますので，安全性が高くなると考えた結果だと思います．そういうことで，本計画案は、市民に対して受け入れられやすい考え方だという評価されます.

それでは，具体的に事業プログラムとして，どのような施策を考えればいいかということになりますが，ここでは歩行者空間の拡大，路面電車の延伸，自転車道路を造ること，地下道の新設拡張．これはもう現実になっていますが，あるいは自動車の通行規制の導入,これはは，どうしてもトランジットモール等でやっていく場合には規制を与えるがどうしても必要であるので選択しました。これらをを組み合わせ，最も好ましい考え方をみつけるために、Choquet 積

分で総合評価を行いました.

その結果，規制に対する反応が非常に大きいこと．それから，大通の歩行者空間を拡大することとか，あるいは路面電車の延伸も，賛同が得られました．地下空間の，最近出てきた地下通路については，地下鉄の影響を受けている地域と，受けていない地域で，極端な違いが出てきていることが分かりました.

都心の交通にとって望ましい姿は，いろいろな地区で，それぞれの考え方が出てきて，これをどう調整していくかということが一つのポイントになります．例えば地下空間，地下通路の周りには，地下通路をそのまま利用した方がいいというところに比較的多く集まっています.

最後になりますが，具体的に地下通路の通行量の予測を，これは 3 月 12 日に地下通路が開通したのですが，その前にわれわれが予測した結果を紹介して終わりたいと思います.

今札幌市都心部は，大通，狸小路と駅前周辺で，商圏の二極化が起こっています．どんどんストロー現象によって，駅前の集客化が進んでいて，地下通路がそれに対してどういう形で変化を与えるかということを，3 月 12 日前に少し予測していました.

歩行者の行動の変化がどういうところにあるかを考えました．基本的にはどちらを選ぶかという選び方を，二項ロジットモデルを作りました．それから，こちらはこういうログサム変数で流していきます．最終的にはこういう二項ロジットモデルで帰宅するか，活動を継続するかということで，全体の動きを表していくという方法を考えました.

結論的に言いますと，通行量調査で，開通前は大体 2.9 万人，開通後は 5.5～7.2 万人．これは調査によって多少違ってきていますが，札幌市の調査では、1.8～2.5 倍になっています.

それに対して，これは通路がないときに，歩行者が２地区について．いろいろな目的によって，どのぐらいの割合で選ぶかを算出してみます．その結果，例えば買い物については，大通から札幌駅が 7.4%，札幌から大通へは 19.8%になっています．これを通路ができた後の予測で考えていきますと，こういう 15.3%，35.9%という形で，確実にその両方の往来の増加があることが予想されて，大体，札幌市に調査に合うような結果が得られました.

ただし，施設規模の影響が非常に出てきており，ストロー現象がより強まるという傾向も出てきています.

そこで今後，もし大通地区の魅力を高めた場合はどうなるかを，同じような形で推測してみました．地下通路ができたときにどうか．今度は大通から札幌方向に行くのに比べて，札幌から大通の方向に行くのが確実に増えております．これは歩行者の行動範囲が拡大して，一極化が解消できる可能性を表しております．ただし，大通の魅力は，何らかの形で高めなければい

けないという結果です.

以上このような考え方を，政策システム工学といえるかどうか分かりませんが，SEA をベースにした考え方を，ちょっと紹介させていただきました.

基本的には，これからのインフラ整備と持続可能な社会づくりをどうすればいいかということになると，やはり公共投資の比重低下と共に，今後のインフラ整備の持続可能な計画づくりの重要性が増してくると考えられます．特に SEA を取り込んだ政策システム工学は，比較的，これからの社会を反映したものと位置づけることができると思います。

二つのインフラ整備計画もわれわれがやりましたが，やはり様々なステークホルダーを取り込んだガバナンスの必要性があります.

インフラ整備ためのパートナーシップについては，今日はあまり詳しくお話ができませんでしたが，シームレスな領域で，われわれはこれから，まちそのものをどうやって作っていくのかとなると，恐らく官民一体となって束ねていく必要があることが考えられます.

それから，生活と文化の創発で，ハードとインフラをまず融合して，相乗的な効果を働かせる計画づくりが必要です.

それから，インフラのライフサイクルを考えていくやり方です.

いずれにしても，こういうやり方は，今までのような Method Oriented すなわち、メソッドを中心とした考え方ではなくて，Problem Oriented，すなわち問題をどう解決していったらいいかというものに，ベクトルを向けていかなければいけないというのが私の考え方です.

時間で少し内容をスキップしてしまいましたが，以上で終わりたいと思います.

ご清聴ありがとうございました.

6. 閉会の挨拶

泉　典洋（北海道大学大学院工学研究院環境フィールド工学部門・教授）

今日は 4 人の方に四つのテーマで、リモートセンシング，水問題，地震防災，都市計画の四つの違った観点から，持続可能な都市システムの構築を目指してということでお話しさせていただきました．これが持続可能な都市システムの構築を作るための何らかのきっかけになってくれればと思います．

このジョイント公開講演会も，もし可能であれば持続していくように，また 2 回目，3 回目が企画できればいいと思います．今日は長い時間，どうもありがとうございました．

東京大学生産技術研究所
都市基盤安全工学国際研究センター
153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1
Tel.+81-3-5452-6472
Fax: +81-3-5452-6476
http://icus.iis.u-tokyo.ac.jp
E-mail: icus@iis.u-tokyo.ac.jp

ISBN4-903661-61-X