



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12回ICUSオープンレクチャ
ICUSの活動 — これまでの道のり、これからの展望 —
2007年4月25日(水)

魚本 健人、安岡 善文、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

第 12 回 ICUS オープンレクチャ

ICUS の活動 —これまでの道のり、これからの展望—
2007 年 4 月 25 日(水)

魚本 健人, 安岡 善文, 目黒 公郎

ICUS Report No. 25
2008 年 3 月

都市基盤安全工学国際研究センター

ICUS Activities to Achieve a Safer Urban Environment

-Past achievements and future directions-

25 April, 2007

By

Taketo Uomoto, Yoshifumi Yasuoka, Kimiro Meguro

ICUS Report No. 25, March 2008

目次

1. 趣旨説明(目黒 公郎).....	1
2. 「都市防災とコンクリート」(魚本 健人).....	2
2.1 はじめに.....	3
2.2 災害とコンクリート構造物.....	3
2.3 今後実施すべき維持管理業務の予想.....	8
2.4 コンクリート構造物の長寿命化を図るには.....	15
2.5 コンクリート構造物の予防保全と補修.....	23
2.5.1 ひび割れ部注入による物理的効果.....	23
2.5.2 ひび割れ注入のない場合の塗膜の損傷と耐久性.....	26
2.5.3 防食に関する断面修復材の効果.....	34
2.6 最後に.....	41
3. 「都市環境と災害の観測と評価 ―ヒトの目、トリの目―」(安岡 善文).....	42
3.1 紹介と概要.....	43
3.2 はじめに.....	43
3.3 ヒトの目とは.....	43
3.4 トリの目とは.....	45
3.5 都市はどう変化し、どうなっていくのか?.....	48
3.5.1 我々の周りで起きていること.....	48
3.5.2 持続可能な都市の実現に向けて.....	54
3.6 宇宙からの観測技術をどう利用するか?.....	56
3.6.1 宇宙から見るトリの目とは.....	57
3.6.2 トリの目で見える都市.....	63
3.6.2.1 ヒートアイランド.....	63
3.6.2.2 3次元の景観.....	71
3.6.2.3 都市の変化.....	75
3.6.3 リモートセンシングの最前線.....	77
3.7 情報処理技術をどう利用するか?.....	79
3.8 まとめ.....	84
4. 「これからの都市防災:ハードとソフト、国内と国際の視点から」(目黒 公郎).....	87
4.1 はじめに.....	87

4.2	防災対策のあるべき姿	88
4.2.1	代替の効かないものはハードで守る、ただしそのハード整備のキーはソフト	89
4.2.2	防災を実現する具体的な対策とは？	90
4.2.3	適切な被害抑止力を実現する二つの能力	92
4.2.4	わが国のインフラ整備と時代背景	93
4.3	自国を良く知るために外国を見る	94
4.4	相手国にも自国にもプラスとなる国際協力のあり方	96
4.4.1	留学生教育も同様	97
4.4.2	シンプルで安く、日常的な活用性を主とした津波被害軽減システム	100
4.5	防災ビジネスの創造と育成の大切さ	105
4.5.1	「第2のバベルの塔」にならないように	105
4.5.2	「21世紀版、いざ鎌倉」システムの構築	106
4.5.3	避難所生活者支援パッケージ	107
4.6	これまで行ってきた被害調査や防災に関わる国際活動を通じて	109
4.6.1	世界で最も弱い組積造建物の問題	110
4.6.2	日本では毎年10回以上も起こる規模の地震でさえ	112
4.6.3	他人事でない訳	112
4.6.4	100ドル耐震補強法	115
4.6.5	現地での実構造物を対象とした耐震補強工法のデモンストレーションと公開実験	120
4.6.6	性能を確認するために実施した各種の実験	121
4.6.7	一般向けの分かり易い情報配信の重要性	122
4.6.8	災害イメージングの重要性	124
4.6.9	「100ドル耐震補強法」を広く普及させるための制度提案	126
4.6.10	提案工法による死者軽減効果	127
4.6.11	「2段階インセンティブ耐震補強推進システム」の概要	128
4.6.12	提案工法による災害時の経費軽減効果	130
4.7	わが国を対象とした耐震補強推進制度	132
4.7.1	耐震強度震偽問題建物の比ではない既存不適格建物の数	134
4.7.2	耐震補強を推進するための制度	134
4.7.3	防災における「自助」「共助(互助)」「公助」	135
4.7.4	目黒提案の公助システム	136
4.7.5	目黒提案の「共助」システム	137
4.7.6	目黒提案の「自助」システム	140
4.7.7	認識を改めるべきこと	141
4.7.8	今、流れを変えておかないと	142
4.8	さいごに	143

1. 趣旨説明

都市基盤安全工学国際研究センター（ICUS）は、21世紀の安全な都市基盤整備のために安全工学の様々な研究、情報普及を行うことを目的に2001年4月に設立した。ICUSは、サステナブル・エンジニアリング部門、都市防災・安全工学部門、都市情報ダイナミクス部門から構成され、都市構造物の安全性の評価・維持管理技術の開発、自然災害による基盤設備の構造安全性、災害時の使用安全性の確保のための研究、都市基盤に関する情報をモニタリングし平常時および非常時の都市基盤施設の安全な運用を確保するための技術の開発と評価、及び国際的な活動をおこなっている。今回のオープンレクチャは、6周年の成果の発表および今後の活動に対して原点を振り返る場と考えている。

The International Center for Urban Safety Engineering (ICUS) was established in April 2001 with the objective of promoting fundamental and collaborative research, networking and information dissemination related to various aspects of urban safety engineering towards creating a safe urban environment in the 21st century. ICUS activities in the past years have focused on developing new technologies for evaluating, monitoring, enhancement, and maintenance of urban buildings and infrastructure in all weather conditions including the possibility of various natural and man-made disaster occurrences. ICUS has also been actively involved in international collaboration.

In this Open Lecture, achievements of the first six years of ICUS and its focus for the future will be discussed. We are looking forward for large audience participation and an active exchange of opinions.

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
センター長 目黒 公郎

2. 都市防災とコンクリート

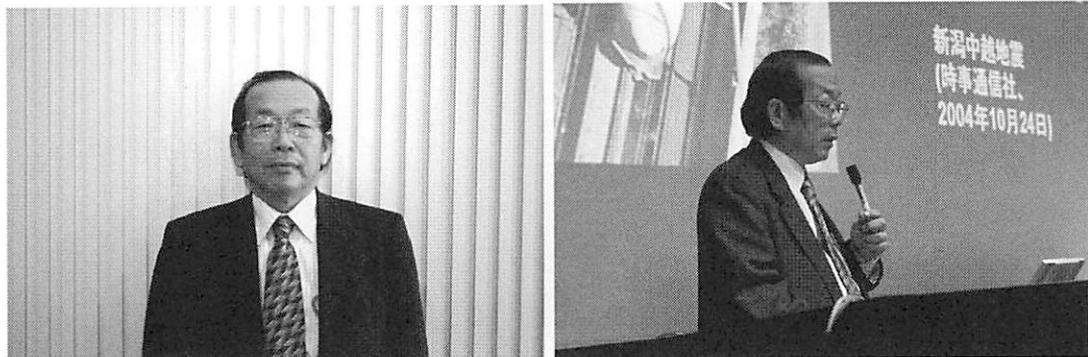
魚本 健人（芝浦工業大学工学部土木工学科 教授）

【略歴】

- 1971年 6月 東京大学工学部土木工学科卒業
- 1971年 7月 大成建設株式会社入社
- 1978年 1月 大成建設株式会社退社
- 1978年 2月 東京大学生産技術研究所 助手に採用
- 1981年 2月 東京大学工学博士号取得
- 1981年 9月 東京大学生産技術研究所 助教授に昇任
- 1992年 4月 東京大学生産技術研究所 教授に昇任
- 2001年 4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 教授、センター長に転任
- 2003年 4月 東京大学生産技術研究所千葉実験所所長 兼務
- 2007年 3月 東京大学生産技術研究所 退職
- 2007年 4月 芝浦工業大学工学部建設系土木工学科 教授 現在に至る

【現在の主な研究テーマ】

- コンクリート構造物の劣化診断システムの構築に関する研究
- コンクリート構造物への非破壊検査の適用
- 組成および環境条件に着目したコンクリート構造物の耐久性, 変形性能の評価
- 吹付けコンクリートの特性及び耐久性に関する研究
- コンクリート構造物の補修工法に関する研究



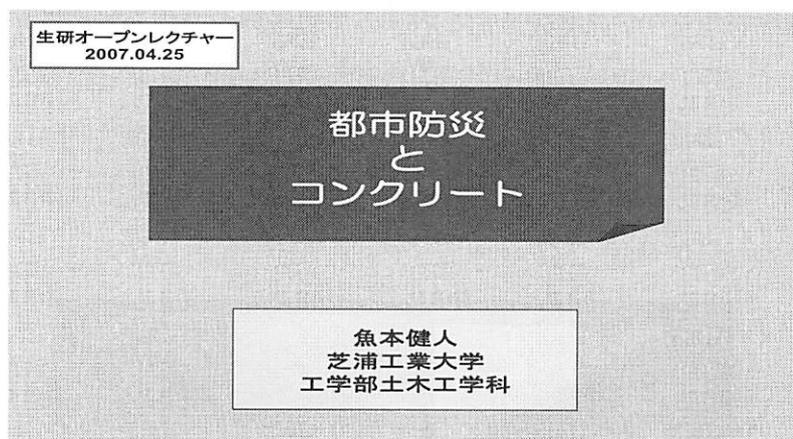


図-2.1 タイトル

2.1 はじめに

この3月まで生産技術研究所で勤務させていただきましたが、4月から芝浦工業大学工学部の土木工学科に勤務することになりましたので、よろしく願いいたします。芝浦工業大学の4年生の皆さんも今日は10人以上来てくれているはずなので、後でもし何かありましたら、ようすを聞いてみてください。私としては、今までとはあまり変わったことはしていないつもりです。

それでは、今までどんなことをやってきたのかということのを少しだけご説明させていただきます。

2.2 災害とコンクリート構造物

最初に災害の話です。コンクリート構造物がいろいろな形で、都市の基盤を支えています。阪神淡路大震災のときに橋梁の倒壊が起こったのは、皆さんもよくご存じだろうと思います。これは劣化してどうのということではないのですが、こういう構造物が崩壊したということで、こういう分野においては非常に大きなショックを与えました。

2004年には新潟の中越地震の際に、新幹線の脱線事故等がありました。これはちょうど新幹線が走っているときに地震が起こったために、脱線が起こったということです。これも不幸中の幸いでして、けがをされたかたもおられますが、対向車線に電車が来ていなかったもので、大惨事、大変な人身事故にならなかったというのは、皆さんご存じのとおりで

す。このような脱線事故がありました。実は上越新幹線の橋脚等を見ますと、橋脚が倒れるということまではいっていませんが、この写真(写-2.2)でも見られるように、やはり阪神の地震のときのように、ちょうど中央部分で鉄筋の破断、剥離、実際にはコンクリートのかぶりの落下ということが起こっています。これも一応、それなりの対策が採られていたために、軽微な損傷で済んだということがいえるかもしれません。



写真-2.2 中越地震で損傷した新幹線の橋脚

しかしながら、ご存じのように 2001 年には、ワールドトレードセンターのテロによる構造物の崩壊ということが起こりました。また、スマトラ沖地震で、津波の被害で非常に多くのかたがたが亡くなりました。海岸線にある大半の構造物がやられてしまったということは、皆さんのご記憶のあるとおりです。

風、その他によってもけっこうな被害があります。特に台風です。構造物が壊れることも沢山ありますが、走行している車両、車等が風で転倒または飛ばされるというダメージもあります。ご存じのように、台風そのものは我が国には非常にたくさん来ていまして、年間で大体 10 件以上上陸し、多大な被害を及ぼしているのが現状です。台風による被害は風ばかりでなく、雨による洪水や土砂崩壊もあります。海岸線の護岸や河川近くの道路なども土砂崩壊が発生し、えぐられてしまうこともあります。また、鉄砲水等で建物や周りの構造物等もやられているのは皆さんもご存じかと思います。

河川の増水により、山口県の岩国にあります錦帯橋（その年の 3 月に修復が終わったばかりだったのですが）の橋脚が二本流されました。確かに今までも何度もこの橋は流されており、その都度修復工事が行われています。こういう自然災害で構造物がやられるというの

は、皆さんも大体お分かりいただけるでしょう。

劣化が原因で橋が落ちることもあります。アメリカで、2000年5月に落橋がはっせいしました。これは、レース場とパーキングの間をつないでいる歩道橋で、プレテンションPC鋼材の腐食による破断が原因です。実際はこの橋を非常に沢山の人が歩いていたので、大変な数の人が負傷しました。この橋は完成して約5年という非常に短い期間で、PC鋼材の破断が起こっています。その原因は冬場にまいてる融氷剤（簡単にいうと岩塩です）で、PC鋼線をプレテンションで押さえている箇所から塩化物が入り込んで、内部の鋼材を腐食させたということが原因になっています。

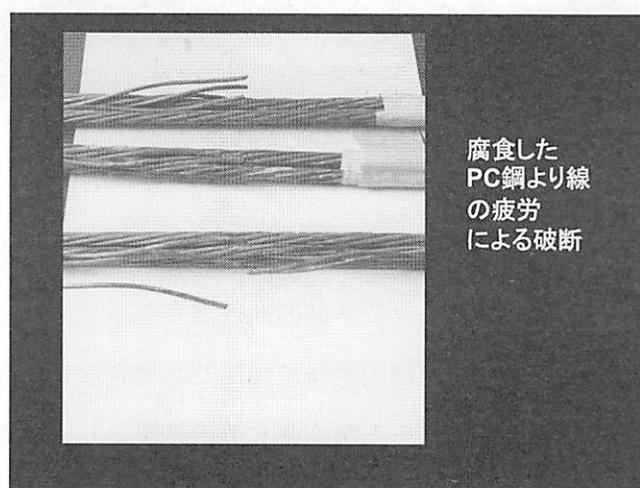


図-2.3 腐食したPC鋼より線の疲労による破断

このように、いわゆる自然災害その他で構造物がだめになるということもありますが、腐食その他の劣化が原因で構造物の安全性が失われるということもたくさんあります。

コンクリートの劣化もあります。阪神淡路大震災でも橋脚そのものが損傷を受けている例があります。図-2.4をよく見ると、コンクリートがアルカリ骨材反応を起こしているため、ブロックに細かく分かれてしまっていて、幸いなことに鉄筋で何とか押さえられたということで、著しい倒壊は避けることができました。そうはいつでも、もしそのどこかがやられていれば、全体が崩壊するだろうということは目に見えています。



図-2.4 アルカリ骨材反応を起こしていた橋脚

また昨今では、特に日本海側の橋脚その他で、アルカリ骨材反応による鉄筋の破断ということが起こっています。特に橋脚のフック筋の曲げ部がそうです。これはコンクリート標準示方書などに従わずに、小さな曲げ内半径で加工した場合などに発生しています。アルカリ骨材反応を起こすと、コンクリートが膨張しその結果として、鉄筋が破断するという現象です。

こういうことから、表-2.5に示しますように今まで我が国は、1950年代から2000年代までそれぞれ、いろいろな社会基盤等々の整備が行われてきました。特に1950年ごろは戦後間もない時ですから、国土の保全(治水)、エネルギー開発が非常に重要視されました。60年代、ちょうど東京オリンピックが行われたのが64年ですが、そのころに交通基盤の確立、そして新幹線も走り出しました。70年代になると、都市に対して人口の集中が非常に進んだものですから、都市基盤、公害対策ということが重要視されました。1980年代、いわゆるバブル経済のときは文化施設、余暇施設が非常にたくさん造られ、「世の中ばら色」という感じの時期でした。90年代になると経済の減速化が起こり、地球環境対策とか、中心市街地対策というものに対する整備をもっと行わなければならないということで、いろいろやりました。さらに2000年代になってからは、人口の減少、それから経済衰退への不安ということもあり、特に都市の再生とか、災害リスクの低減というものが必要視されるようになってきたのです。恐らくこのあともそれが続くと思いますが、今後こういう問題がより多くの注目を浴びることになり、このICUSでやってきたようなことは、これからま

すまず重要なポイントになるのではないかと考えています。

日本の社会基盤整備の推移と課題 (丹保他 人口減少化の社会資本整備 土木学会)			
①	1950年代	国土保全(治水)、エネルギー開発	産業基盤の確立
②	1960年代	交通基盤確立	産業発展ボトルネックの解消
③	1970年代	都市基盤・公害対策	都市への人口集中
④	1980年代	文化施設・余暇施設	経済的過成点(バブル経済)
⑤	1990年代	地球環境対策・中心市街地対策	経済減速
⑥	2000年代	都市再生・災害リスク低減・地球環境対策	人口減少・経済衰退への不安

表-2.5 日本の社会基盤整備の推移と課題

これからの我が国の問題としては、いろいろな自然災害等に対する配慮、対策を考えるということ以外にも、事故、テロリズム、経年劣化というものも非常に重要なポイントになってこようかと思えます。こういうところが、恐らくこれからの建設分野が期待されるところだろうと考えています。

**これからは安全で国民が安心して住める
国土・都市を建設することが大切**

これからの我国の問題としては

1. 耐震構造物の建設・補強
2. 台風・津波などに対する対策
3. 耐火時に対する対策
4. 各種事故に対する対策
5. テロリズムに対する対策
6. 経年劣化に対する対策

これからの建設業が期待される分野

図-2.6 これからの建設業が期待される分野

ICUS のメンバーは、2001 年当初はここに上がっている写真で、先ほどごあいさつされた大岡先生は最初からおられましたし、今度センター長をやっていただく目黒先生もその当初からおられました。今日お話しされる安岡先生もそのときからずっとやっておられます。最初は割と小ぢんまりとしたメンバーでやってきたのです。実際はこの中で、Sustainable Engineering, Urban Safety Engineering, Information Dynamics という三つの分野で、それぞれ頑張りましょうと。その全体を束ねて、特に海外の研究機関とも一緒に研究しましょうということでスタートさせていただきました。

2.3 今後実施すべき維持管理業務の予想

私はその中のうちの、既設の構造物をどのようにして維持管理したらいいのかということについての検討を主にさせていただきました。

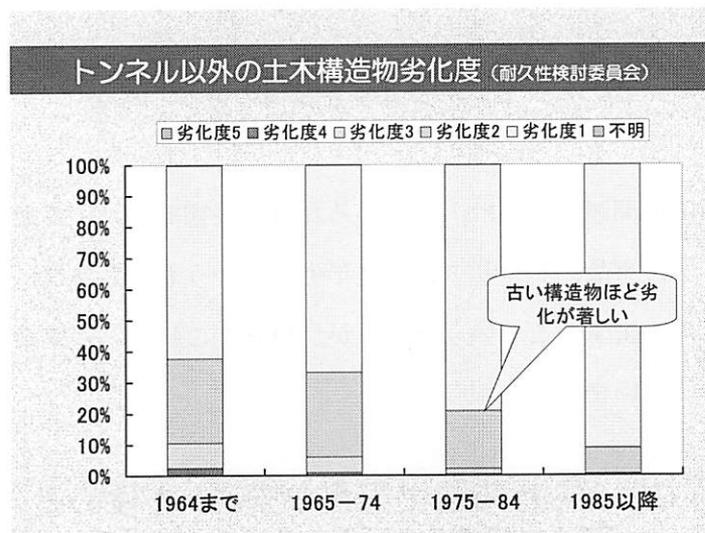


図-2.7 トンネル以外の土木構造物劣化度

これは耐久性検討委員会というところから出されたもので、土木構造物です。トンネルを除いています。これを見ると、劣化の程度はそれぞれの年代で違いますが、おおむね古いものであればあるほど、劣化の程度が大きくなる、悪くなっているものが増えるということになります。これはだれでも大体想像できることです。

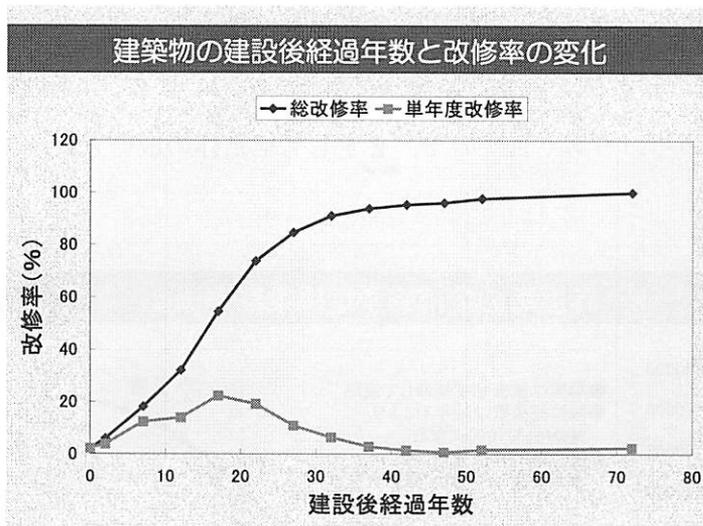


図-2.8 建築物の建設後経過年数と改修率の変化

実際には、例えば建物などの改築率というのはどうなっているのかというと、かなり初期の段階でどんどん改築されていきます。大体 50%に到達するのが 15 年から 20 年の間。これぐらいのところで、大抵の建物の場合には改築が行われています。30 年もたつとそういうことがされていないのが 10%ぐらいしかないということになります。

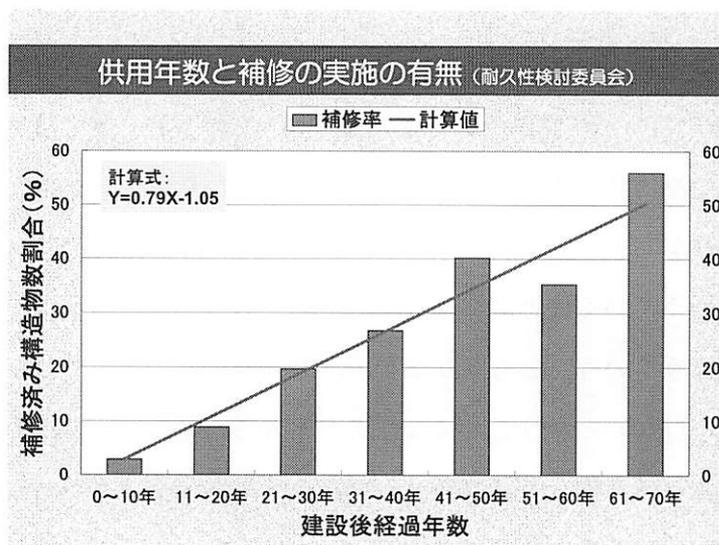


図-2.9 供用年数と補修の実施の有無

では土木の構造物はどうかということをお調べしたのがこちらです。土木の構造物の場合には、ちょうど半分になるのが 50 年から 60 年ぐらいです。

先ほどの建物の場合に比べると、ある意味では遅いのかも知れません。そういう意味では、土木構造物のほうが改修その他はあまり行われていないのです。実は建物の場合には、設備の改修その他いろいろありますので、必ずしも構造物の改修ということではありません。

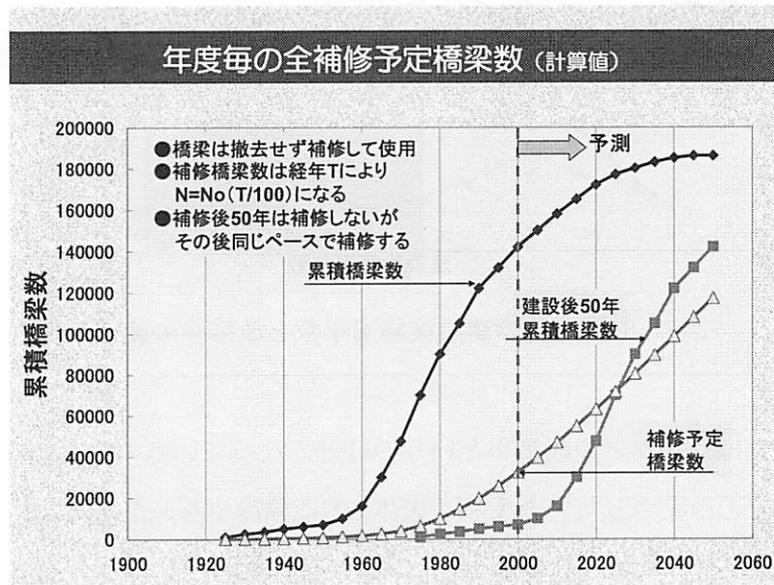


図-2.10 年度毎の全補修予定橋梁数

ただ、こういうことを考えますと、今まで我が国で造ってきたいろいろな構造物があります。特に1920年ぐらいから図が書いてありますが、戦後直後、例えばこれは橋梁の数を示していますが、急激に数が増えていっていることが分かります。非常に短期間に造ったものですから、これがちょうど50年あと、この辺のところからは、逆にいうと50年たったものがこれだけ増えていくことになります。当然、ある部分の橋梁は早めに用なしになってなくなってしまうということもありますが、そうでないものについては維持管理し、補修もしなければいけないということになります。大ざっぱに言って、そういう補修をしなければならない土木構造物、これは橋梁の場合ですが、どうなるのかというと、やはりこれから非常に増えていくことが分かります。

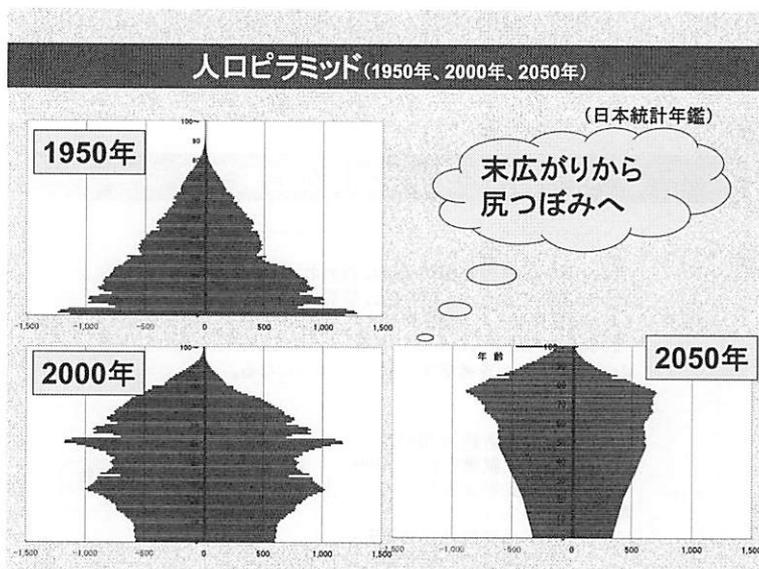


図-2.11 人口ピラミッド

一方、私は 1947 年に生まれましたが、そのころ習ったのは、こういう我が国の人口ピラミッド。確かにピラミッドのように三角形をしていて、そういうものだと思っていた。2000 年になると、これは割とずんどうになってきて、2050 年には戻すぽみになります。このように、我が国の人口は大きく変わっていくことになります。

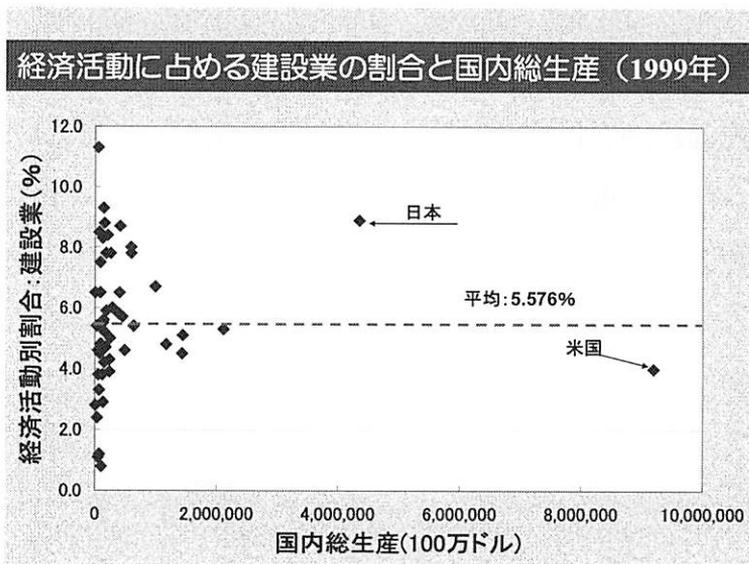


図-2.12 経済活動に占める建設業の割合と国内総生産

しかしながら、今まで日本の建設業というのは世界で第 2 位の国内総生産です。アメリカに次いで 2 番めなのです。ほかの国々と比較しても、建設に携わっている割合がかなり

大きいことが分かります。今ですと9%です。これが恐らく将来的には、もっと減っていくでしょう。5~6%になるだろうと思われます。

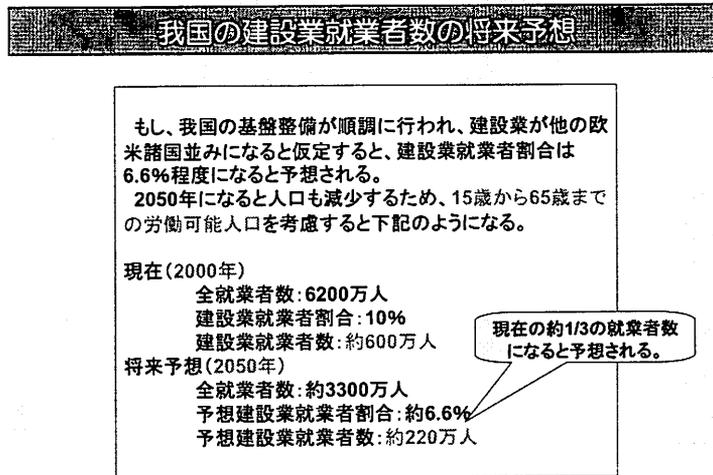


図-2.13 我国の建設業就業者数の将来予想

もしそうなると思えますと、例えば現在の就業者数は 6000 万人ぐらい、建設はその約10%の600万人ぐらいいるのですが、将来、人口が減るということもあって、そこが約半分になる。さらに建設業に就業される割合が今よりももっと減るでしょうということを考えると、200万人ぐらいまで減る可能性が高いと思います。すなわち、2050年というオーダーで考えますと、昨今では建設投資が多すぎるということでもいろいろ言われていますが、大ざっぱにいうと建設分野に携わる人間が200万人ぐらいになる。すなわち、今現在の約3分の1に減るだろうと予想されます。

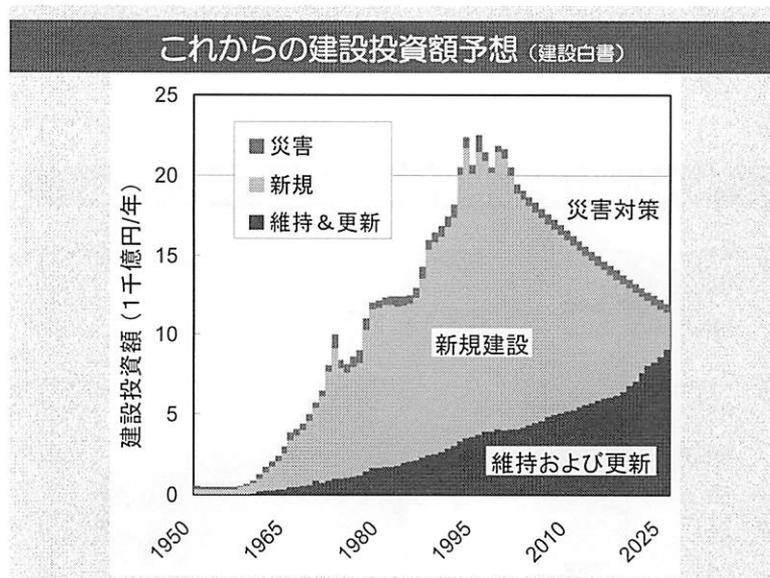


図-2.14 これからの建設投資額予想

こういう状況の中で、古い建造物がたくさん増えてきて、これは建設白書で出してあった図ですが、今後、トータルの費用はどんどん減っていくのですが、中でも維持管理の費用はどんどん増えていく。今までは新規建設が圧倒的多数だったのですが、これからは維持管理のものがすごく増えるでしょう。2030年ぐらいになると、とんとんになってしまうのではないかということになります。

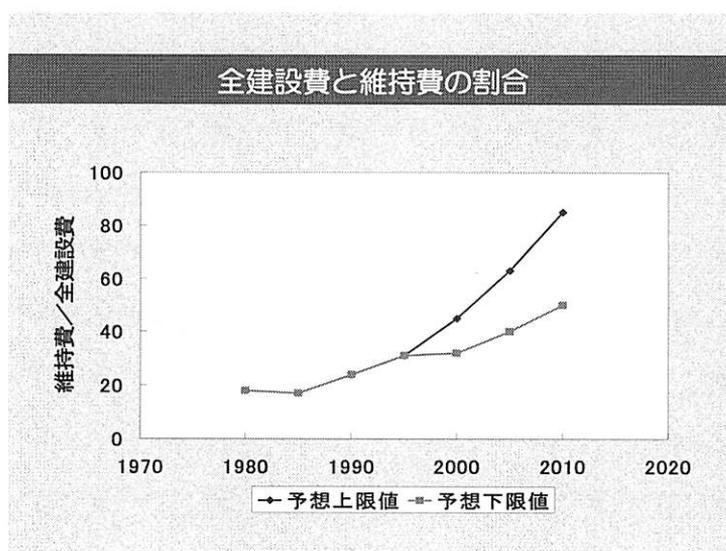


図-2.15 全建設費と維持費の割合

そういうことから見ると、全部の建設費に対する維持管理費の割合が 50%を簡単に超えて、それがどんどん大きな数字になるだろうと予想されています。

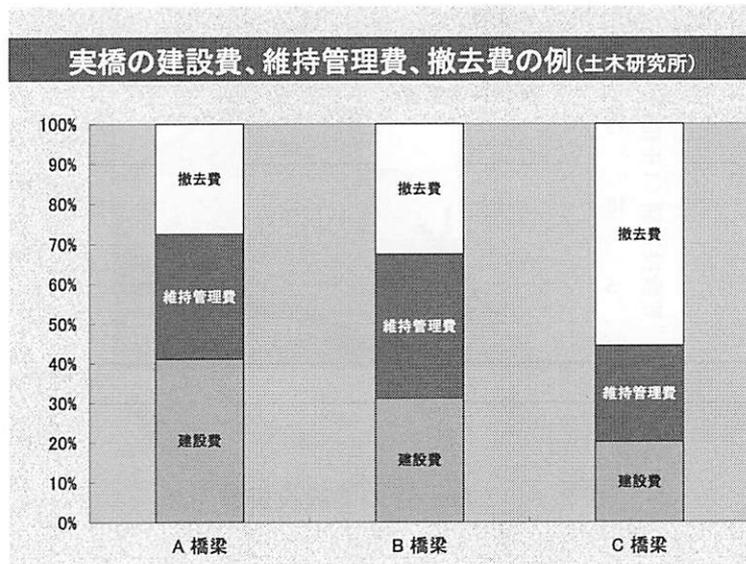


図-2.16 実橋の建設費、維持管理費、撤去費の例

では、こうした維持管理というものが、実際にはどれくらいやられているのかということを示したものがこちらです。国交省の土木研究所で、実際の橋の建設費とか、維持管理費、撤去費、それが例として挙がっていました。A 橋、B 橋、C 橋とありますが、大体造った費用と同じくらいの維持管理費をかけています。それを超えると大体撤去という話になっています。簡単にいうと、いちばん右のものを除くと、撤去まで考えると、橋を一つ、二つ、三つ造っているようなものです。ですから、実は構造物を造っても、これは費用だけを挙げていますが、維持管理の期間が長ければ、それ相応の期間は使えるのですが、維持管理が悪い、もしくは状況によっては非常に早く構造物がだめになってしまっ、撤去しなければならないということになりかねません。このような状況だということはお存じだと思います。

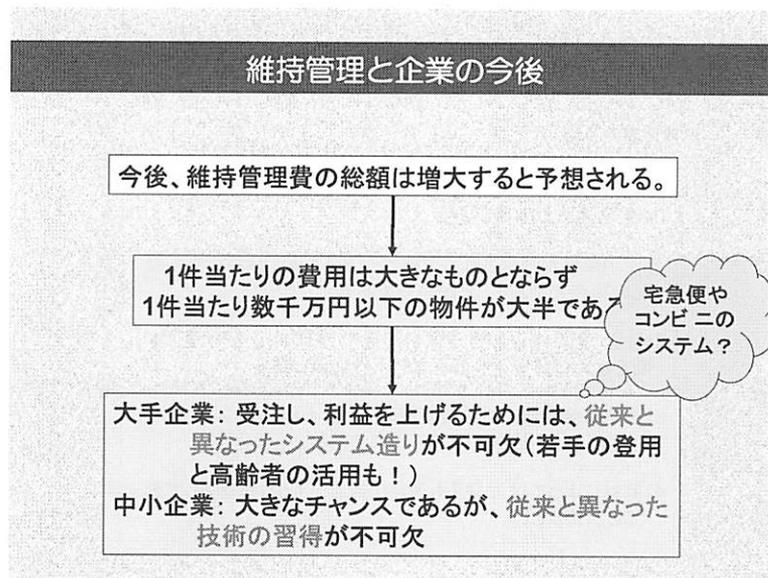


図-2.17 維持管理と企業の今後

ですから、維持管理がこれから増えるのですが、割合が増えるということで、トータルの金額としては建設全体に対する投資に比べるとずっと下がってまいります。こうした維持管理の技術というのは、1件当たりの費用がどうしても小さなものになります。ですから、大手の企業はこういうものではなかなか利益を上げることができないということになります。ということは、従来とは異なったシステムをうまく作らないといけないということと、中小の企業の場合には大きなチャンスを与えられることになります。そういう意味ではうまくやれるかもしれませんが、そのかわり、従来とは異なった技術の習得ということが不可欠になってきます。恐らく企業の皆さんは、このようなことをよくご存じだろうと思います。

2.4 コンクリート構造物の長寿命化を図るには

それでは、こういう構造物を長寿命化しよう、より長い期間使おうと。つい最近でも国交省で提案されていることで、例えば橋梁その他の構造物は100年使うことを前提にしましょうという話が出ています。

長寿命化を図るとはどのようなことか？（新規）

新規建設の場合

構造物を100年以上使用することを考えると、次のようなことを考慮する必要がある。

- 1) 使用条件が変更される可能性があるため、余裕のある諸元の構造物であることが必要である。
- 2) 設計・維持管理図書の保管管理(100年以上)と検査・診断を含む維持管理を計画的に行う必要がある。
- 3) 予防保全も含めた維持管理のライフサイクルコスト(LCC)を考慮した経費の検討が不可欠である。
- 4) 部材によっては取替えも容易に行えるような構造としておくことが望ましい。

図-2.18 長寿命化を図るとはどのようなことか？（新規）

このように100年ぐらい、もしくは100年以上使うということを、今までの構造物の場合にはあまり想定してこなかった部分があります。しかしながら、もしこのように長い期間使うことを前提にするのであれば、少なくとも使っている間に使用の条件がいろいろと変更になる可能性があります。ですから、構造物を造るときにどうしても余裕のある諸元の構造物を造っておかないと、すぐに機能的に使えなくなってしまう可能性があります。

それから、実際に100年も200年も使うということになると、大抵は設計の段階、維持管理の段階の図書が紛失することが非常に多くなる可能性があります。今でも30年前に造られた構造物のそういうものが残っていないということがよくありますので、これからはそういうものの保管管理をきちんとすることが非常に大事になります。

さらに、維持管理のためのライフサイクルコストというものをきちんと考慮する必要があるということです。あまり最初から余裕のある構造物を造るのは、金がかかって大変だということがあれば、部材によっては取り替えが簡単に行えるような構造を最初から考慮しておくということも必要になるかと思います。

余裕のある構造物とは？**道路や橋梁で例をあげると**

- 1) 将来の拡幅を考慮して道路用地を確保し、将来の交通量を予測して2車線ではなく余裕のある4-6車線分の橋梁幅等とする。
- 3) 橋脚等も拡幅や補助桁の増設に対処できる構造とする。
- 4) 同じ条件で管理構造物の定期検査を実施し、その劣化状況を把握するとともに、劣化進行の早い構造物の詳細検査を適宜実施する。
- 5) 地震等による被害が発生した場合でも、直ちに使用安全性をチェックできるモニタリングシステムや容易に取替え可能な部材を利用した構造とする。
- 6) その他

図-2.19.1 余裕のある構造物とは？

例えば余裕のある構造物というのはどんなものかということ、大抵の場合、今まで造ってきていると、今現在の交通量を想定して造っているものが多いのです。ある意味では、橋梁部分、川などを渡る橋などの場合は、どうしてもそこがネックになりますので、本来であれば2車線でいいといっても、4車線ぐらい造っておいて、場合によってはその歩道を広く使うということまで考えたほうがいいのか。それから、橋脚その他も拡幅、補助桁、そういうものの増設に対処できるような構造とかを最初から考えておかないといけないだろうと考えられます。



写真-2.19.2 余裕のある構造物とは？

これは余裕があるかどうかは分かりませんが、例えば左上の写真(写真-2.19.2)です。こちら側とこちら側に通常の道路があつて、真ん中には将来的にもっと増設してもいい土地を確保してあるわけです。こういう方法を取っておけば、先々何か必要なときには幾らでも用地の確保は可能であり、地方には2車線の道路が多いのですが、交差点のところだけは少し広げて3車線以上にしておけば、先々いろいろなものがうまく流れるようなことになるだろうと考えられます。

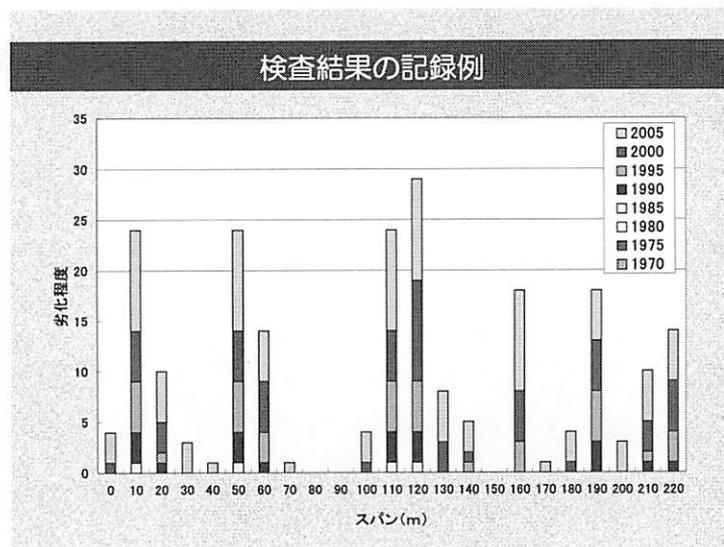


図-2.20 検査結果の記録例

それから、構造物の検査をいつもやっていますが、そういう検査をするときの一つの手法として、1, 2, 3, 4とか、A, B, C, Dというランクをつけてやるのです。そういうものをずっと累積させておいて、どの時点から急激に悪くなったのか、どこが悪くなったのかということを知るようにすることが必要なのだと思います。これは特に重みづけをしていませんが、それぞれの箇所で、例えばこの辺がどうも危ないとか、こういうところは気をつけましょうということは、だれが見ても分かりますので、そういう記録を取っておくことが非常に大事になります。



図-2-21 重要構造物の常時モニタリング

また重要構造物の場合には、これは一つの example ですが、ビデオカメラだとか、変形、加速度、それから腐食その他の計測を、定期的もしくは常時モニタリングすることで、判定を早く行えるようなシステムが使われるようになることが必要だろうと思います。

長寿命化を図るとはどのようなことか？（既設）

既設構造物の場合

構造物を100年以上使用することを考えると、次のようなことを考慮する必要がある。

- 1) 設計・維持管理図が不備な場合には、早急に復元設計等を行い安全性を確認するとともに、その復元設計の結果と実構造物の照合を行い(NDTなど)その図書を保管する。
- 2) 既に各種の劣化が発生している場合には、予防保全も含めた対策を講じる必要があり、その際に配筋状態などを確認しておくことが重要である。
- 3) 予防保全も含めた維持管理のライフサイクルコスト(LCC)を考慮した維持管理を計画することが必要である。
- 4) 部材によっては取替えも早期に行うことが必要となる。

図-2.22 長寿命化を図るとはどのようなことか？（既設）

既設構造物の場合、さらにどういうことを考えなくてはいけないかというと、先ほども言いましたが、もうすでに設計とか維持管理の図書の不備なものが非常にたくさんあります。特に大事なものは、いろいろな構造物を、例えばAという会社がBに、もしくはAという役所がBという都道府県に譲り渡したりすると、そういう図書などはほとんど一緒には動いていません。そのために先々何か起こったときに、何が起こったのかよく分からないということが起こります。

既存構造物の設計図書の重要性



非破壊検査や外観検査だけでは構造物の耐震性、耐荷力、安全性を確認できない。

設計図書が重要

図-2.23 既存構造物の設計図書の重要性

こういうことを防止するための一つの方法としては、あらかじめ既存構造物のチェックをしておく必要があります。図面その他が何も残っていないという場合には、少しでも早めに、その当時のことをよく知っているような人が企業その他で働いているときに、できれば復元設計その他をやることでチェックしておくことが大事だろうと考えます。

設計図書のない構造物（復元設計による推定）（岡崎慎一郎）

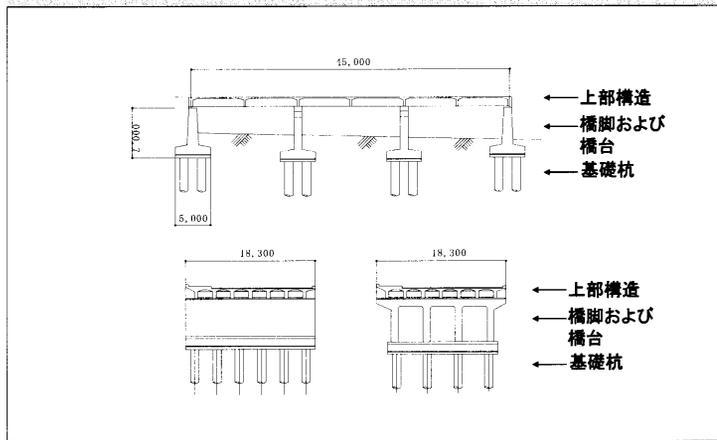


図-2.24 設計図書のない構造物（復元設計による推定）

これはある構造物の残っていた図面で、いわゆる外形図だけしか描いていないのです。これで何とか調べろといわれても分からない。

橋脚の配筋図（復元設計による推定）（岡崎慎一郎）

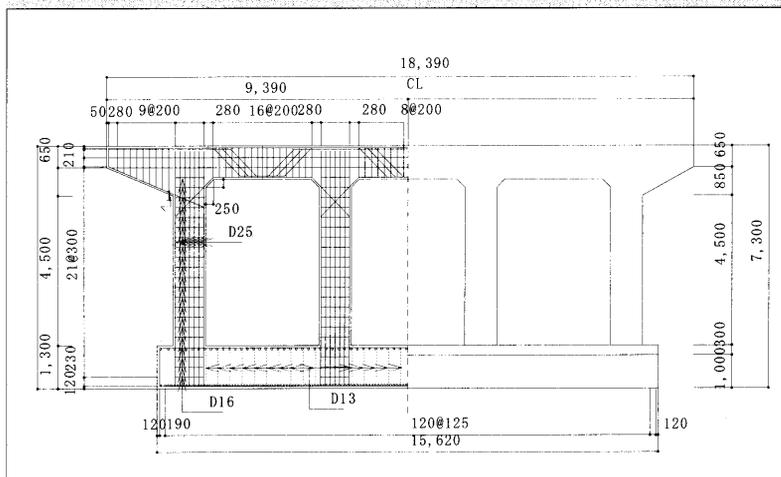


図-2.25 橋脚の配置図（復元設計による推定）

その一つの方法として、その当時修士だった岡崎くんにやってもらいましたが、その当時の設計の手法をそのまま適用して、その当時の人間だったらどう設計するかというのを再現するというのも一つの方法だろうと思います。こういうことをしてあげると、それぞれの年代で何がどう変わったかも分かりやすい。

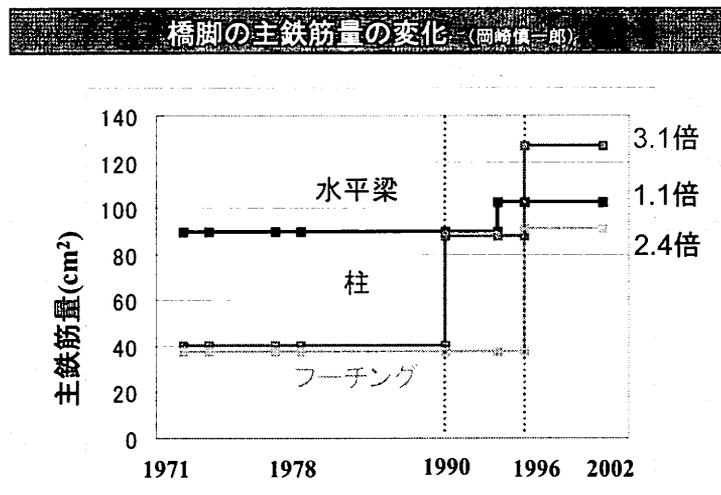


図-2.26 橋脚の主鉄筋量の変化

これは橋脚の主鉄筋量の変化を示したものです。例えば柱の部分は、ちょうど基準が変わった1990年、それから96年に一気に増えているということが分かります。すなわち、現在の数値と1990年より前の数値を比較すると分かりやすいのです。柱に使われている鉄筋の量が、今だったらかつての3倍入れなくてはいけないことになっています。逆に昔のものは3分の1しか入っていなかった。より寸断による破壊その他が起こりやすい状況になっているということが分かります。

例の姉歯事件の問題ではないのですが、実はルールもどんどん変わってきていますので、現在正しいと思われているものも、将来になるとそうではないかもしれないということは常に念頭に置かなければならないことだろうと思います。こちらの場合のようなことが起こる可能性がありますので、やはり図面、設計図書等をきちんと保管しておくことが大事になります。

2.5 コンクリート構造物の予防保全と補修

2.5.1 ひび割れ部注入による物理的効果

次に、でき上がっている構造物をどのように保全したらいいかということの基本的なものです。一つはいろいろなひび割れが入っている場合があります。生産技術研究所もけっこういろいろなひび割れが入っていて、問題のある箇所もあります。

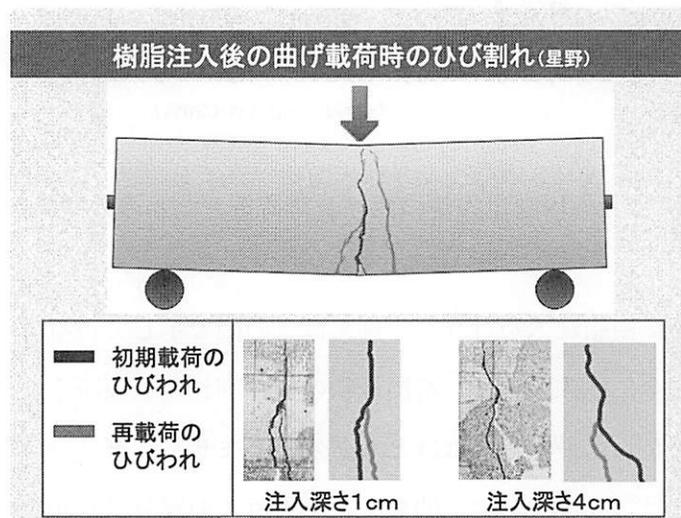


図-2.27 樹脂注入後の曲げ載荷時のひび割れ

これは星野くんにやってもらった結果です。例えばこういう梁に載荷試験をして、ひび割れのところに樹脂系のものを注入をします。そうしてもう一度載荷すると、それとは違ったところにひびが入る。簡単に言うと、いちばん弱いところで構造物はやられてくるのです。そこが押しえられれば、2番めに弱いところでやられるということになります。

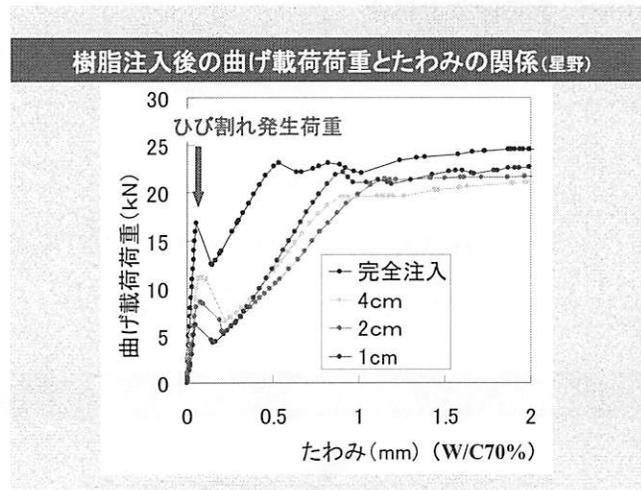


図-2.28 樹脂注入後の曲げ載荷荷重とたわみの関係

だから、それなりに樹脂注入を行うと、例えばこの図で示しているように、ひび割れのところに最後まで完全に注入すると、特に最初のひび割れ発生箇所そのものはかなり改善されます。しかしながら、最大耐力はほとんど変わりません。どういうことかという、注入するという事は、物理的・力学的なメリットはこの部分にしか出てこない。あとの部分にはほとんど出てこないということを示しています。

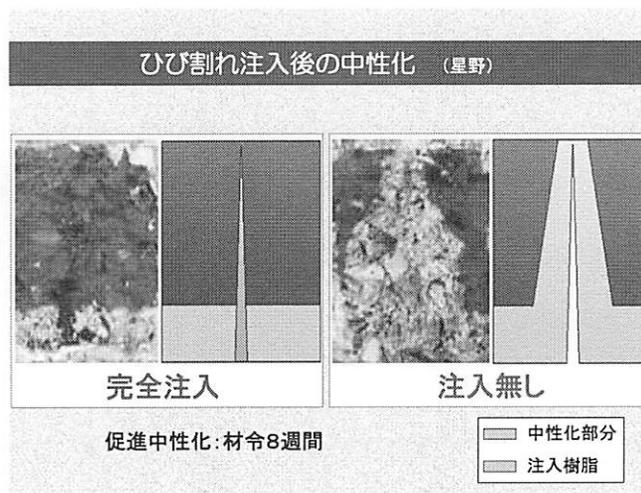


図-2.29 ひび割れ注入後の中性化

しかしながら、ひび割れ注入を行うと何がありがたいかという、こちらの写真はコンクリートにひびを入れ、完全に注入した状態で、促進中性化試験をやっています。そうすると、表面からずっと炭酸ガスが入って行って、この辺まで中性化が進行していることが

分かります。

もし、ここに何もしていないと、同じようにしていても、ただ単に表面からの距離が同じになるだけではなくて、ひび割れ部分中心でもどんどん中性化が起こります。こういうことが起こると、内部の鋼材の腐食、もしくは損傷が早く起こることになります。たとえ注入の程度が表面から1~2cmであっても、何もしないものに比べれば、はるかにいい結果になることが分かります。当然、中性化は完全には止まらずに、この部分から入ってきますが、それなりの効果があるということがお分かりいただけると思います。

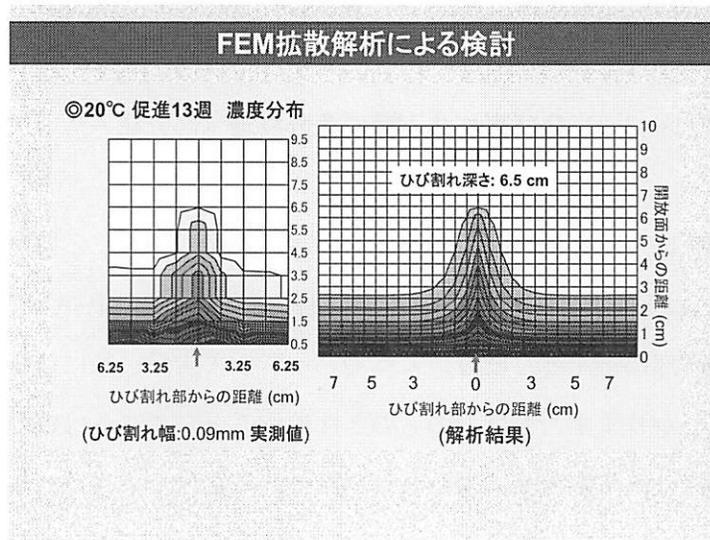


図-2.30 FEM 拡散解析による検討

これは塩分の場合です。塩分の場合にも、もしひび割れが入っていると、その箇所から塩分が内部に入ってきます。こちらは解析した結果、こちらは実験した結果です。

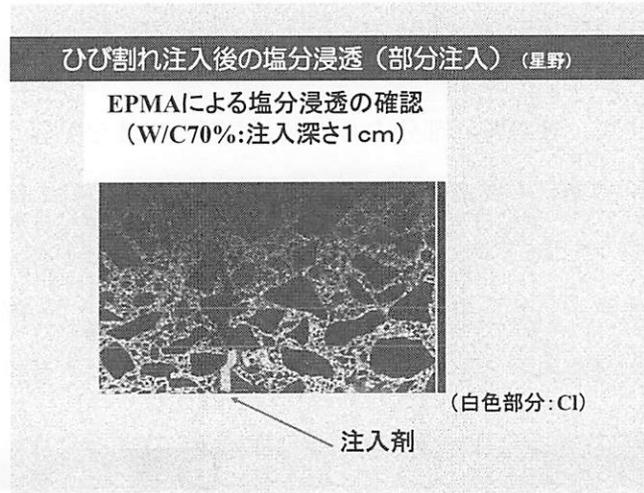


図-2-31 ひび割れ注入後の塩分浸透 (部分注入)

このような方法を採用したときに問題なのは、例えば表面の1cm ぐらいだけに注入したときに、塩分は、これはEPMA で取ったので白っぽいところが塩分の高いところです。これを見ると、表面から内部にどんどん塩分が入っていつていますが、特にひび割れの影響は現れていないことが分かります。先ほどのものと比較すると、こちらはひび割れどころか集中的に塩分が入っています。表面に少しふたをしているだけでも、けっこう効果があることが分かります。

2.5.2 ひび割れ注入のない場合の塗膜の損傷と耐久性

表面処理工に用いられている樹脂の例						
試験体 No.	工程			総膜厚 (μm)	ひび割れ浸透性 (標準養生後-mm)	
	下塗材	中塗材	上塗材			
1	プライマー バテ	エポキシ アクリルゴムエマルジョン	アクリルゴム系 防水材	アクリルウレタン	1135	4.60
2	プライマー バテ	エポキシ	ポリブタジエン 樹脂	弾性フッ素	1345	3.50
3	プライマー バテ	エポキシ アクリルゴム	アクリルゴム	溶剤系フッ素樹脂系 水エポキシ樹脂系	985	3.20
4	プライマー バテ	エポキシ	柔軟型エポキシ	フッ素樹脂	350	0.91
5	プライマー バテ	エポキシ エマルジョン樹脂系 柔軟系ポリマーセメント	柔軟型エポキシ	柔軟型フッ素樹脂	950	2.60
6	プライマー バテ	エポキシ クロロプレンゴム系	クロロスルホン 化 ポリエチレン系	クロロスルホン化 ポリエチレン系	-	2.40
7	プライマー バテ	エポキシ	柔軟型エポキシ	柔軟型フッ素	595	2.00
8	プライマー バテ	エポキシ	エポキシ	フッ素	185	2.06
9	プライマー バテ	エポキシ	エポキシ	フッ素	505	3.90
10	プライマー バテ	エポキシ	ウレタン	ウレタン	350	1.80
11	プライマー バテ	エポキシ	柔軟型エポキシ	柔軟型フッ素樹脂	330	1.80
12	プライマー バテ	無し アクリル系PCP	アクリル系PCP	柔軟型ポリウレタン 系樹脂	1171	1.38
13	プライマー バテ	エポキシ	柔軟エポキシ	柔軟フッ素	270	1.01
14	プライマー バテ	エポキシ	弾性型PCM	弾性アクリル	-	1.00
15	プライマー バテ	エポキシ	柔軟型エポキシ	柔軟型フッ素	690	0.85

多種多様
である

図-2.32 表面処理工に用いられている樹脂の例

次に、ひび割れ注入のない場合の塗膜の問題です。実はいろいろな構造物に、非常に多種多様な表面処理工が行われています。ここに挙がっているだけでも15社、別々の会社が別のやり方をやっています。

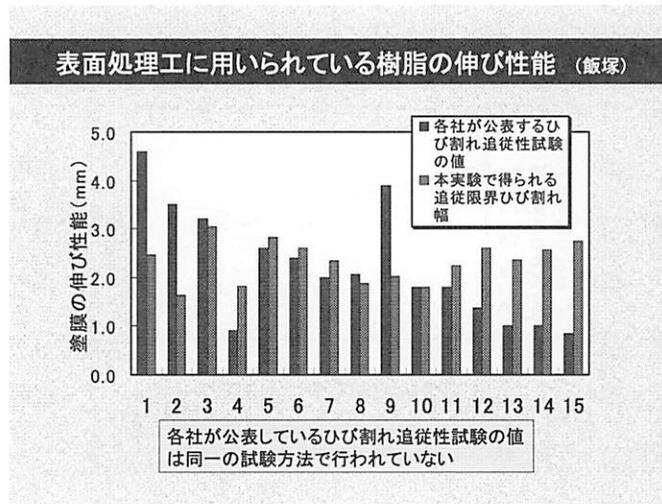


図-2.33 表面処理工に用いられている樹脂の伸び性能

こういうもので使われている樹脂の伸び性能というのは、実は試験方法が一定ではないために、例えば青でかいてあるものはそれぞれの会社が出したものです。赤でかいてあるものは我々の実験室でやった結果です。結果がかなり違うことが分かると思います。

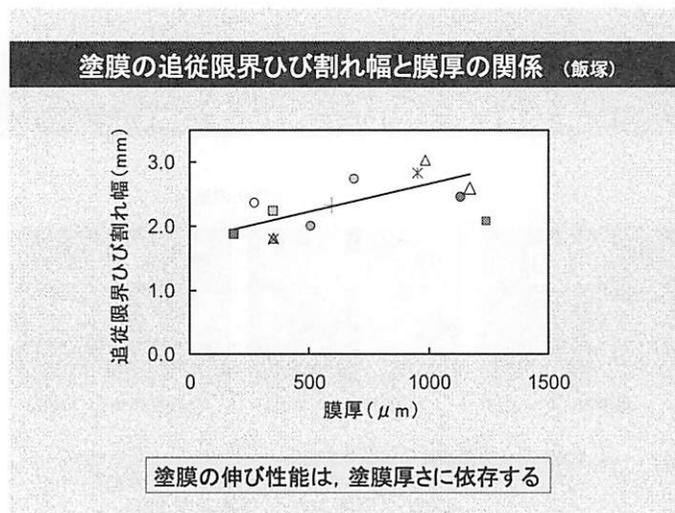


図-2.34 塗膜の追従限界ひび割れ幅と膜厚の関係

とはいうものの、もしこういう塗膜を表面に塗ったときに、下にひびが入ってしましますと、非常に簡単に塗膜も割れてしまします。そうならないかどうかということ調べた

ものがこちらです。大ざっぱにいきますと、塗膜が厚くなるほど限界ひび割れの幅が大きくなるのです。すなわち、ひび割れが大きく開いても塗膜がやられないという結果になります。

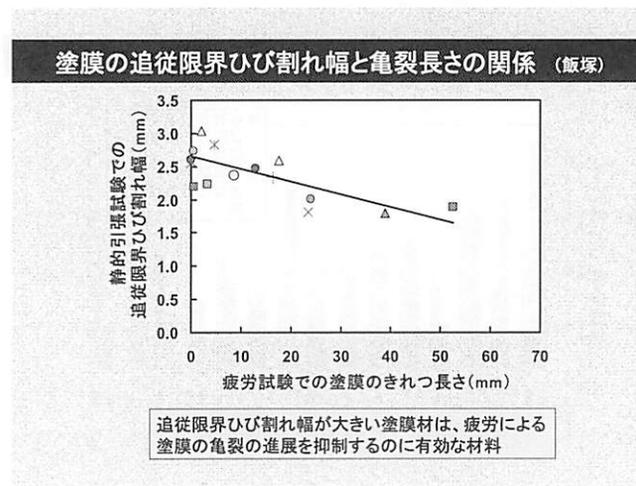


図-2.35 塗膜の追従限界ひび割れ幅と亀裂長さの関係

こちらも飯塚くんがやってくれた結果です。それを基に疲労試験をやった結果がこちらです。やはり追従限界ひび割れ幅が大きなものは、幾ら長いこと疲労荷重を加えてもほとんど亀裂が発生しないものがありますが、逆に追従限界ひび割れ幅が小さいものは、非常に大きな長い亀裂が発生してしまいます。

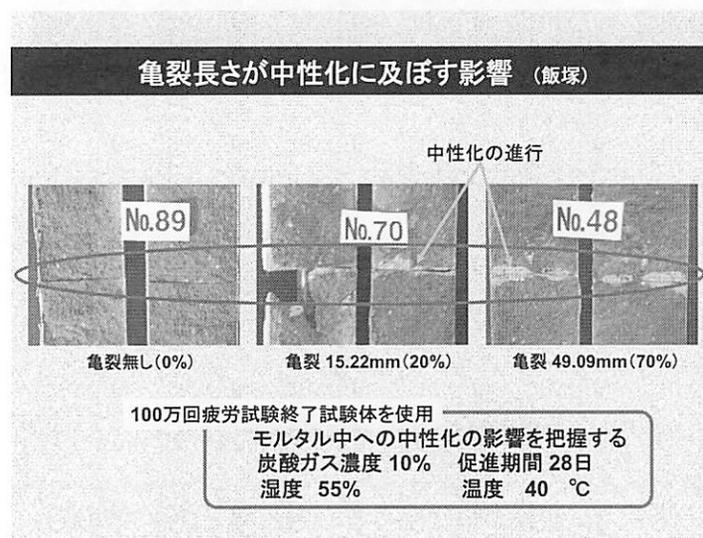


図-2-36 亀裂長さが中性化に及ぼす影響

その結果、どういふことが起こるかという、これは中性化を調べたものです。今いったクラックが入っているところ、この塗膜のところに割れが入ると、内部のコンクリートでどンドン中性化が進行している例です。こちらの亀裂が入っていないものでは、そういうことは一切起こっていないのです。やはり、伸び性のある塗膜をうまく利用するということが非常に大事だろうということがいえます。

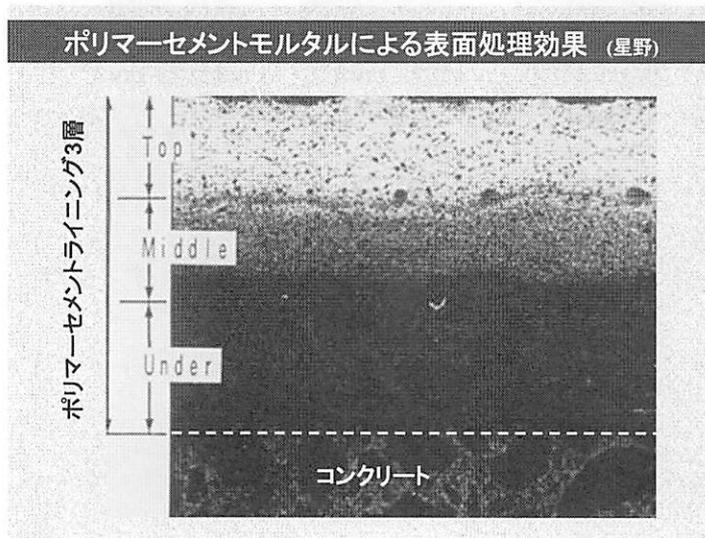


図-2.37 ポリマーセメントモルタルによる表面処理効果

これはポリマーセメントモルタルで表面処理をした場合です。こういうものは完全に、あるところまでは有効なのですが、実はこれは1層、2層、3層とコンクリートの表面に塗ってあるものです。外から塩分が入ってくる程度を示していて、これもEPMAの結果です。第3層めはかなり塩分が入ってしまっている。ようやく今、第2層に入りかかっているということが分かります。まだ第1層まではやられていない。当然、下のコンクリートにはまだ入ってきていないという状況です。このように表面処理を行うと、なかなか内部のコンクリートまで到達しないように、有害イオンがコンクリートの中まで入っていかないものですから、これをうまく利用することでコンクリートの健全性を長期間保つことが可能になります。

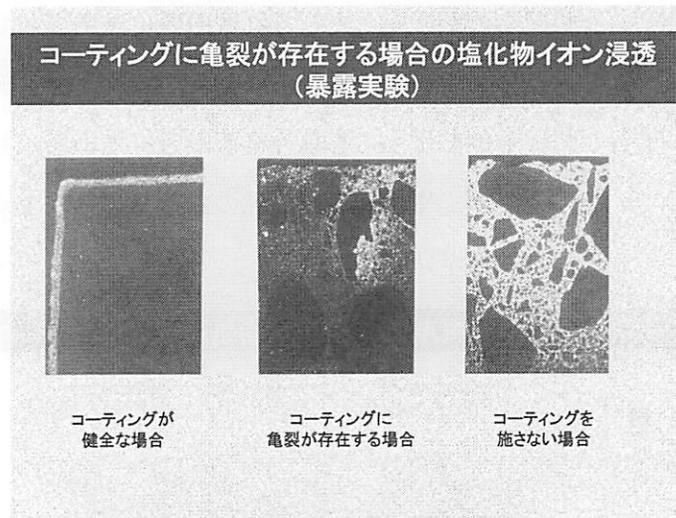


図-2.38 コーティングに亀裂が存在する場合の塩化物イオン浸透（暴露実験）

今のような表面処理法はコーティングのときに非常にはっきり出ます。これは表面にコーティングがしてあり、外に塩分があるのですが、内部には一切ありません。ところが、どこかに穴が開いていると、これだけ中に塩分が入ってきています。しかしながら、塗膜を一切していない状態だと、もっと深くまで入ってしまいます。こういう結果から見ても、有害イオンがコンクリートの内部に入らないようにするためのコーティングというものが非常に重要だということが分かると思います。

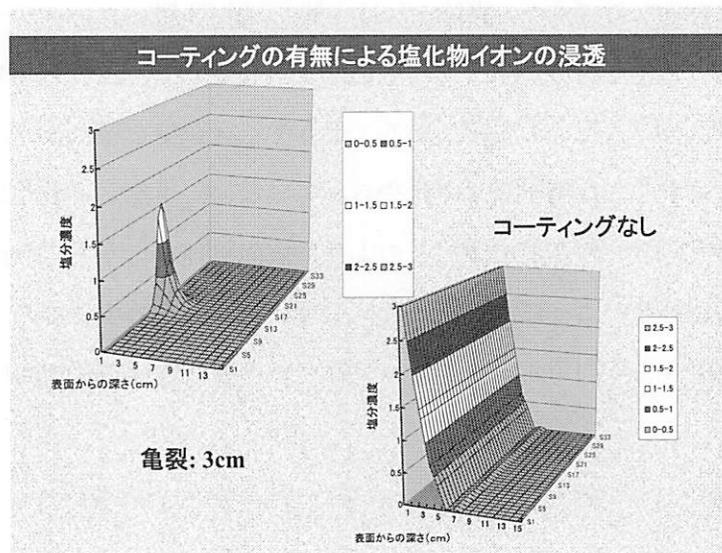


図-2.39 コーティングの有無による塩化物イオンの浸透

これは計算した結果です。コーティングしない場合に比べて、亀裂が3cm ぐらい入って

いるとしても、非常にわずかな量であることが分かります。

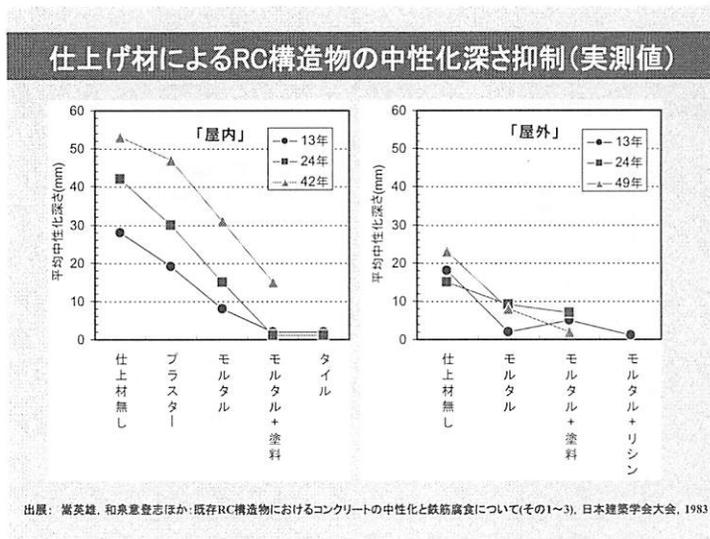


図-2.40 仕上げ材による RC 構造物の中性化深さ抑制 (実測値)

こういう問題は、特に建築の分野においては非常にたくさんのもにに使われています。それは仕上げ材というもので対処してきています。ですから、これを見ても仕上げ材がない場合、それからプラスター、モルタル、モルタル+塗装、それからタイルなどを使うことで、炭酸ガスが内部に入っていく速度を著しく抑えることができるという example です。

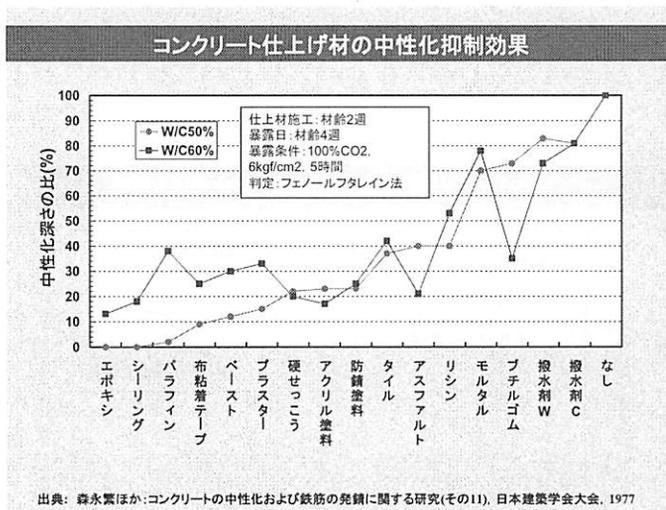


図-2.41 コンクリート仕上げ材の中性化抑制効果

こちらにも似たようなものです。何もしないのがこちらです。粘着テープを張るとか、プラスター、ペースト、パラフィン、シーリング、エポキシ、いろいろなものを作って、そ

それを相対比較してみると、やはり何もしないものに比べると、表層部分に有害イオンが入らないように処理をすれば、そういうものを著しく抑えることができます。

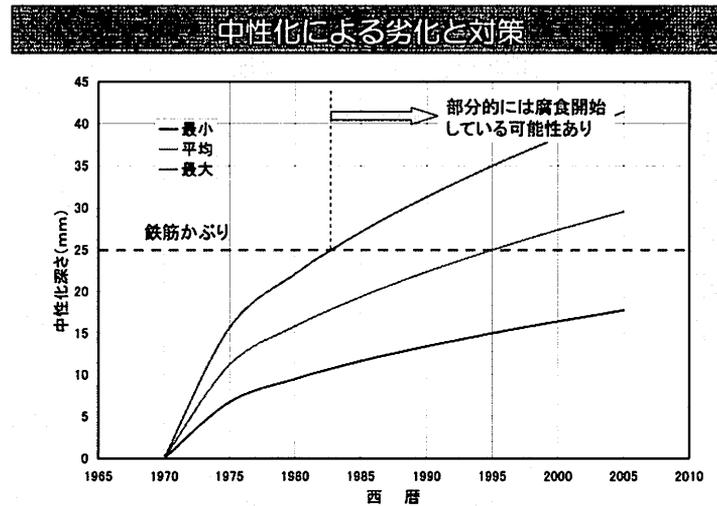


図-2-42 中性化による劣化と対策

それがどうして大事かという、例えばこれは JR さんがやられた実際の構造物の中性化の深さを調べた結果です。例えば鉄筋のかぶりが 25mm あったとしますと、1970 年ごろにできたもので、1983 年ぐらいのときには、ある部分のときには中性化の深さがここまで到達してしまっています。これは最大のものなので、部分的にはないという可能性があります。これが平均値、これが最小という場合ですから、この辺から、部分的には腐食が開始している可能性があるということになります。

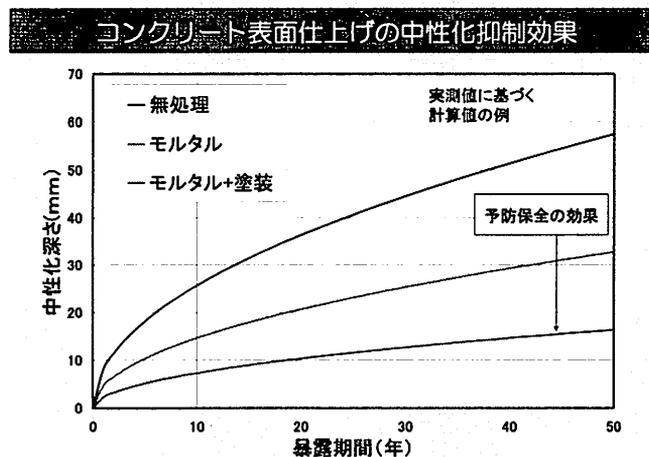


図-2.43 コンクリート表面仕上げの中性化抑制効果

これをより長期間使うためにはどうしたらいいかということで、example として、その上にモルタル、もしくはモルタル+塗装をやると、予防保全の効果は非常に大きく、何もしない場合に比べると、はるかに長い期間、炭酸ガスその他が入らないということが見てとれます。



図-2.44 予防保全としての透明なコーティング例

これは予防保全として透明なコーティング材を使った建物で、下地のモルタル部分がきれいに見えます。こういうものでやるだけでも、実はこのコンクリートにとって、より長期間使うのに適した状態を作り出すことができるという example です。

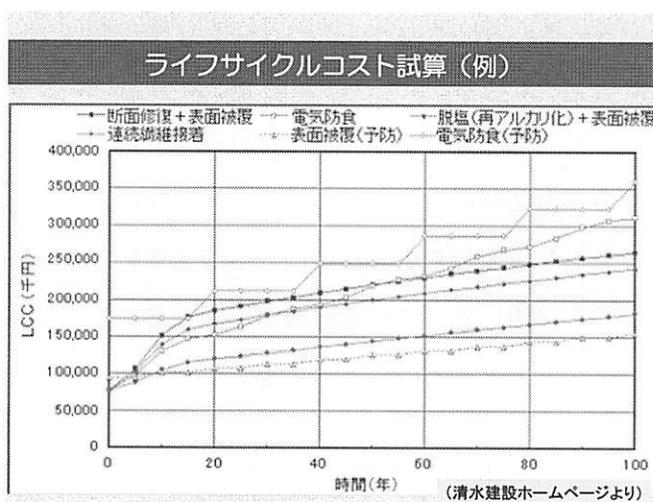


図-2.45 ライフサイクルコスト試算 (例)

これは清水建設のホームページに載っていたもので、ライフサイクルコストを計算した結果です。どういう基準でやったのか、詳しいことは分からないのですが、注目しなけれ

ばいけないのは三角で書いてあるもので、予防のために表面被覆をしている場合です。建設当初から見ると、ほかのものに比べて若干高いのですが、非常にコストを低く抑えることができるので、結果的にライフサイクルコストも少なくなりますというふうに、私は読みました。こういう方法も、今まで土木ではあまり採用されてこなかったのですが、うまく利用していくことが必要になるだろうと思います。

2.5.3 防食に関する断面修復材の効果

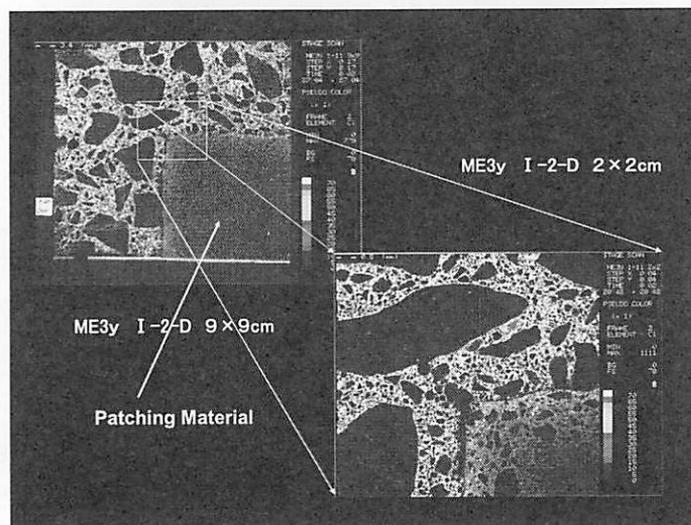


図-2.46 コンクリートの打ち換え方法

例えば部分的にコンクリートを打ち換えるという方法がよく採られています。実はこれは表面の部分に新しいポリマーセメントモルタルを打設しています。こちらは旧コンクリートです。すでにたくさんの塩分が入っている場合なのです。よく見ると、新しいモルタルの部分に、今度は逆にこちら側から塩分が中に入ってきていることが分かります。せっかく表面で抑えてやっても、中に入っている塩分が非常に多いと、結果的にこちらに全部塩分が入り込んでいきます。拡散するということになります。

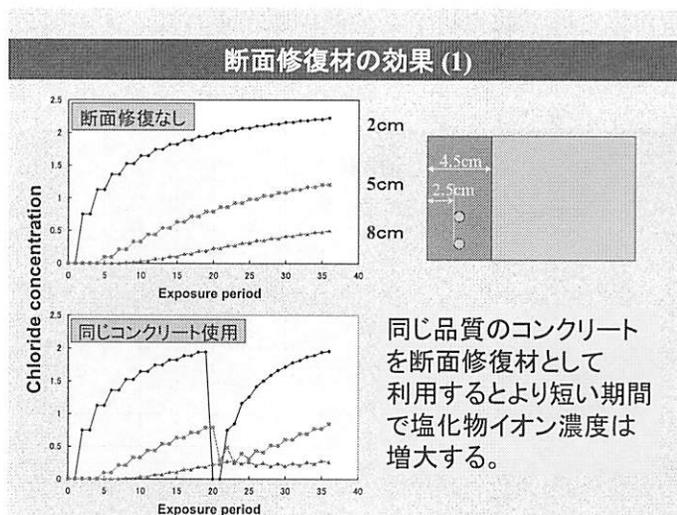


図-2.47 断面修復材の効果 (1)

そういうものを実際に計算してみると、どうなるかということを示してみました。断面修復を一切しないと、ある期間で、深いところにまで塩分などが入ってしまいますが、一度途中でやり換えて、新しい修復材でこの部分を打ち換えたというときにどうなるかというと、20年たって打ち換えても、そのあと15年ぐらいでまた同じところまできてしまうということになります。

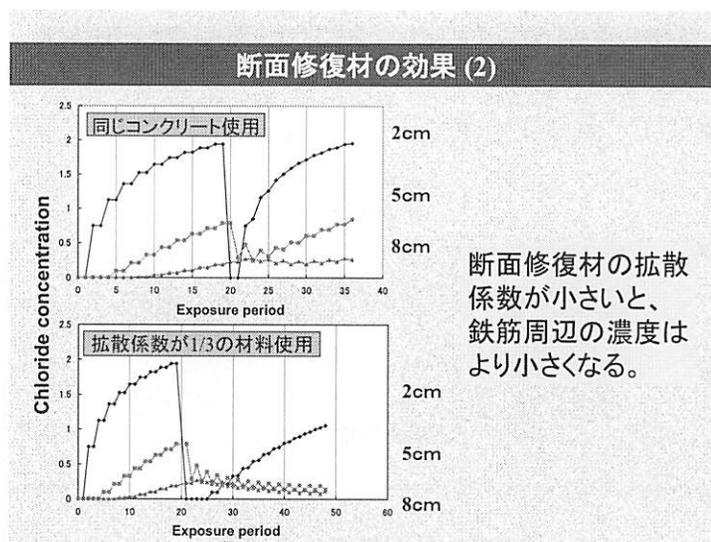


図-2.48 断面修復材の効果 (2)

しかしながら、このときに拡散係数が前のコンクリートの3分の1以下という材料を使うと、ずっと抑えられますので、非常に高い塩分濃度になるのが、非常に遅くなります。

そういうことから使用する断面修復材も、拡散係数の小さなものを使うということが非常に重要だということが分かります。

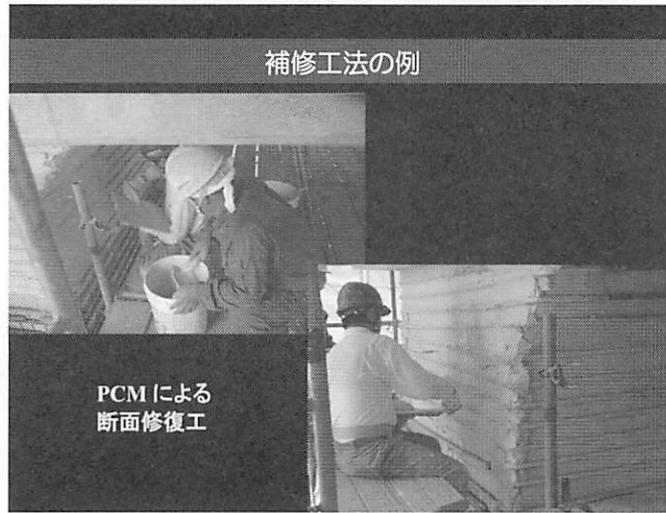


図-2.49 補修工法の例

ポリマーセメントモルタルによる断面修復は、実際には左官屋さんの範ちゅうに入りまして、このような仕事が実際になされています。この場合にも少しずつここへ盛っていくことで、断面修復材を使っているやり方です。

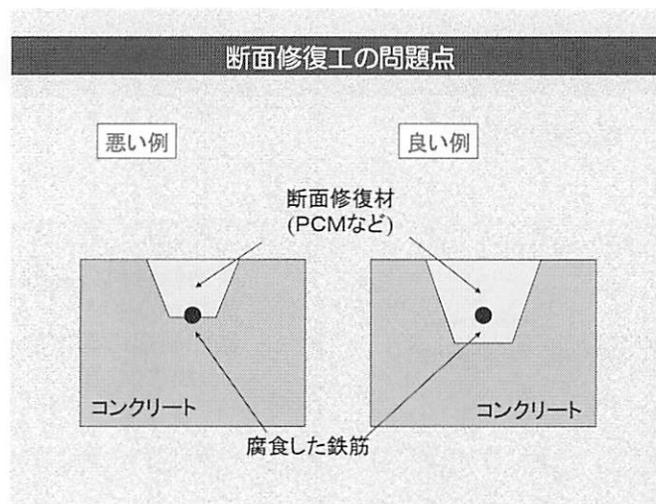


図-2.50 断面修復工の問題点

しかしながら、今の場合もそうですが、特に鉄筋のすぐ裏側が空いていない。だから、これに近い状態になります。結局こういう方法でやると、こちらにも塩分が入ってしまっていると、こちらから入ってくるので、せっかく表面を幾らやり換えても、うまくいかないという example になります。右側がよい例ということになります。



図-2.51 補修後の再劣化

そうでない悪い例になると、せっかく全部やり換えたのに、内部の鉄筋が全部またさびてきてしまっている例です。これでは補修した効果が全然現れないので困るということになります。これは実際の山陽新幹線の構造物で、これをまたもう一度やり直すということになり、余計な出費が非常に多くなってしまった例です。

やはり先ほど言いましたように、こういう内部まで塩分なり何なりが回っているときは、そこまで撤去して補修しないと意味がないという証明です。

断面修復材と表面被覆材を両方やったときにどうなるかということ、example で、ニューラルネットワークで学生に計算してもらいました。

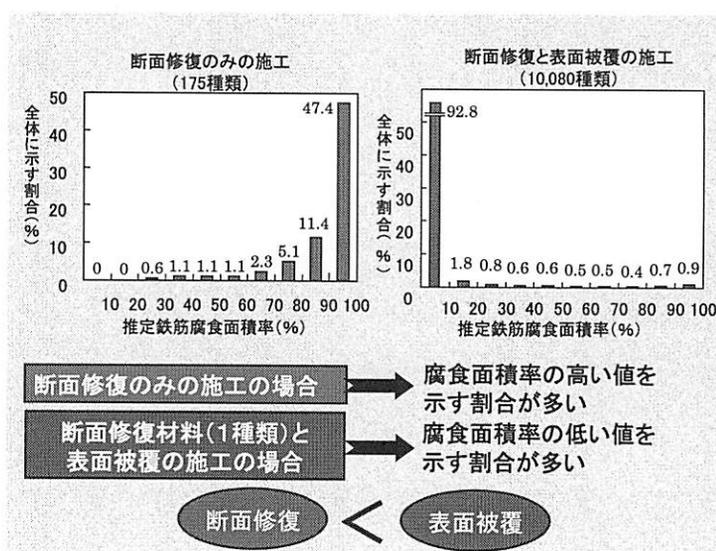


図-2.52 断面修復材と表面修復材の施工の効果

その結果がこちらに出ています。断面修復材だけをやったときは、ここでちょうど推定される鉄筋の腐食面積率が、ほぼ100%というのが全体の47.4%、約半分はほとんど効果がないことになります。しかしながら、断面修復材と表面被覆材を両方やると、ゼロになるのが93%ぐらい。やはりこういう補修その他をするときに、断面修復だけをやったというのでは全く意味がなくて、やはり表面被覆と一緒にやるということが不可欠だということを示しています。

断面修復工と表面処理工の効果と問題点

- 1) 断面修復工は有害物質の濃度分布にもよるが鉄筋背面まで行う必要があり、その材料は既設コンクリートより拡散係数の小さなものであることが必要である。
- 2) 断面修復工だけでは防食効果が小さいため表面処理工と併用することが必要である。
- 3) コンクリート構造物の耐久性を考えると、断面修復工よりも表面処理工の効果の方が大きいですが、その劣化を考慮して適切な時期に再コーティングする必要がある。
- 4) 表面処理工で使用されるコーティングの亀裂等は、外部からコンクリート内部への有害物質の浸透を防止できなくなるが、亀裂等が小さければその影響も小さい。

図-2.53 断面修復工と表面修復工の効果の問題点

少なくとも断面修復、それから表面処理というのは、けっこう分かっているようで分かっていないということです。

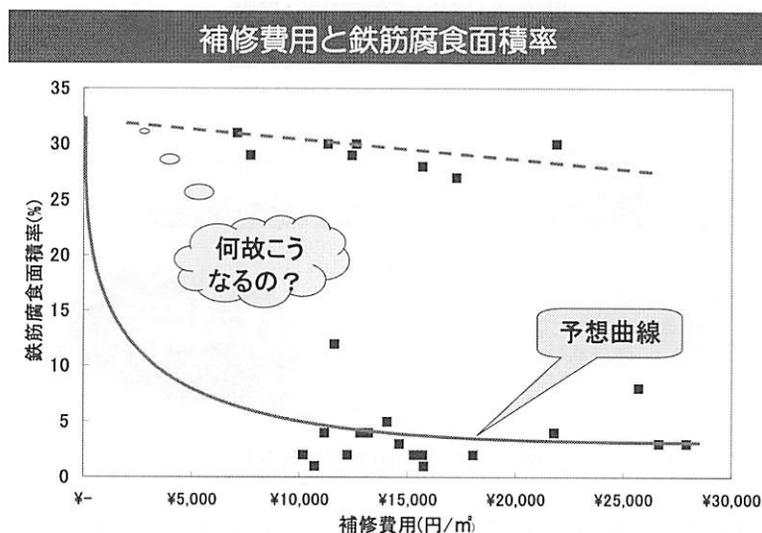


図-2.54 補修費用と鉄筋腐食面積率

そういうことが非常によく現れたのが、これは JCI の防食委員会でやった実験結果を費用でプロットしたものです。何となく我々の感覚でいくと、値段の高いもののほうが効果がいいのではないかと。縦軸はさびる量ですから、小さいほどいいわけです。この辺だったらすごくいいのではないかと思うけど、例えば3万円近いものと1万円ぐらいのものを比べて、どちらがいいかという、結果的にはこちらのほうがいいのです。だけど、もっと悪いことに、こちらのほうもあります。こちらだと2万円ぐらい払っていても、こちらよりも何倍もの腐食率が出ています。これはまだ補修の効果が十分に確認されていないまま、いろいろな構造物に適用されているがために、結果的にお金が高く、さらに効果もないというものも世の中にはまだまだたくさん出ているという example です。

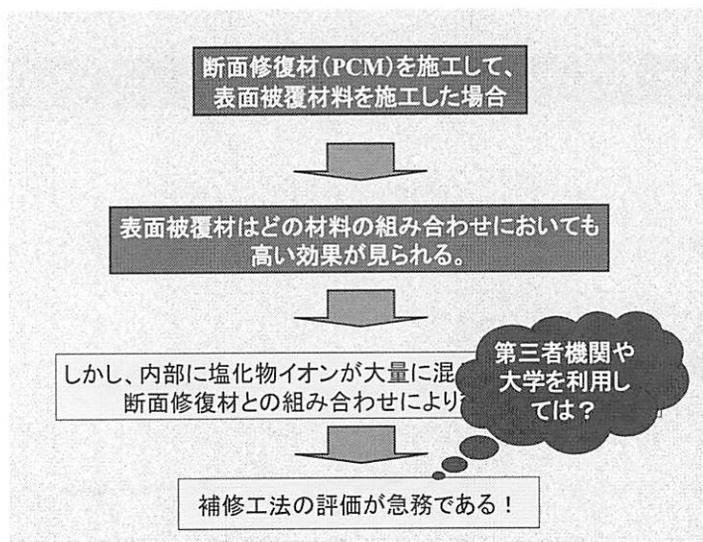


図-2.55 断面修復材(PCM)、表面被覆材を施工した場合

このことから考えますと、少なくとも断面修復材、それから表面被覆材、両方を施工した場合には非常に効果の高い防食性能が期待できますが、内部に塩分が入っている場合などは、やはり断面修復材との組み合わせによる効果が異なるということが分かります。そういう意味では、補修工法の評価が急務であるということがいえるかと思えます。早く第三者機関、もしくは大学等でいろいろな工法の評価を実際にやってあげて、どれがどの程度だということをきちんと出してあげないと、こういう劣化による社会基盤の損傷は防げないと思えます。

私はちょうどこの3月で辞めましたが、先ほどの2001年に比べると、その時点ではメンバーもたくさん増えて、女性の先生がたもたくさんおられます。非常に楽しい日々を送らせていただきました。



図-2.56 芝浦工業大学豊洲キャンパス

2.6 最後に

最後になりますが、今、私は豊洲の芝浦工業大学にいます。見たところ、すごくりっぱな建物なのですが、ぜひこういうところにも皆さんに来ていただきたいと思います。大学ともっと研究、その他意見交換も緊密にさせていただいたらよろしいかと思います。

以上で、私の話は終わらせていただきます。どうもありがとうございました（拍手）。

3. 都市環境と災害の観測と評価 ーヒトの目, トリの目ー

安岡 善文 (東京大学生産技術研究所 教授)

【略歴】

1975年4月環境庁国立公害研究所入所 (環境情報部研究員)

1982年1月同環境情報部主任研究員に昇任

1986年1月同総合解析部第1グループ主任研究官に昇任

1987年4月組織名称変更により総合解析部総合評価研究室長

1990年7月組織改組により国立環境研究所社会環境システム部情報解析研究室室長

1996年5月同地球環境研究センター総括研究管理官に昇任

1998年4月東京大学教授生産技術研究所 教授

2007年4月国立環境研究所理事に就任 東京大学生産技術研究所教授 兼担

この間

1980年7月科学技術庁在外研究員として米国ヴァージニア工科大学に1年間滞在

1992年4月筑波大学連携大学院客員教授 (社会工学系)

1993年4月筑波大学連携大学院教授併任 (社会工学系) 1998年3月まで

1999年10月地球フロンティア研究システム生態系変動予測研究領域長併任 2003年3月まで

【現在の主な研究テーマ】

リモートセンシングによる地球環境の計測・評価に関する研究

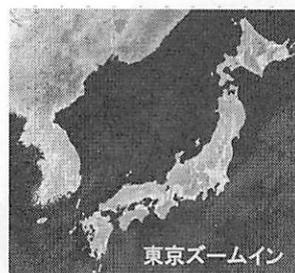
空間情報解析による都市基盤の評価手法の開発

ハイパースペクトル計測手法の開発



ICUS オープンレクチャ

都市環境と災害の観測と評価



安岡善文

東京大学生産技術研究所

平成19年4月25日

図 3-1 都市環境と災害の観測と評価

3.1 紹介と概要

この4月から国立環境研究所に移りましたが、まだ東京大学にも籍がありますので、今日は東京大学として発表させていただきます。

3.2 はじめに

今日の私の話は、環境や災害をどうやって測ったり評価したりするかということです。魚本先生にお話いただきましたのは、都市の一番基本的な要素である構造物をどうやって維持管理して保全するかというお話だったわけですが、私の話はもう少しマクロに物事を見るということになります。上から見る、もしくは別の目で見るとは、我々に違った情報を与えるのではないかということ、紹介したいと思います。

3.3 ヒトの目とは

今日の話は、「ヒトの目、トリの目」とつけさせていただきました。まずヒトの目としてどういうものを考えなければいけないかということになります。



景観をどう計る

- @ 快適な街並みの創造
 - @ 歴史的な街並みの保存
 - @ 個性ある街並みの創出
- 住民参加による街づくり

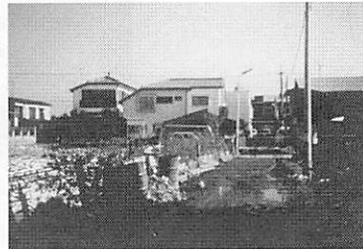


図 3-2 街並みの違い (左上：米国バージニア州，右下：日本)

左上の写真は、ある一つの街並みです。一見ただけで、多分日本ではないと分かります。なかなかきれいな街です。左下の街並みは、一見して日本だと分かります。これは一体何だろうか。これを定量的に評価するのはそんなに簡単ではないわけです。定量的な評価というのは、例えばどう変えたらどのぐらい評点上がるかという評価のしかたになりますが、これをどうやっていったらいいかという話になります。右下の街並みは、東京近郊の住宅地で、実際にここに住んでいらっしゃるかたがいらっしゃいますから、良い・悪いは言えませんが、何となく変えたいと思います。同じ住宅地でも、やはり左上の街並みは、きれいですね。ただ、大変残念ですが、ちょうど1週間前に銃の乱射が行われた町です。私もバージニア工科大学に所属していましたので、1979年から80年にかけてここに住んでいました。あの惨事が行われたというのは非常にショッキングでして、幸いに私の知っている仲間は32人の中に入っていませんでした。街としては非常にきれいな街です。

ここに住んでおられたかたがたは、あんなことが起きるとは全く想像していなかったと思います。ですから一つ目の事件があつてから、二つ目の事件の間に大学は何かしなくてはいけなかったはずだと言われていましたが、そこにおられたかたがたはこんなことが起きるとは全く想像していませんから、次のアクションが取れなかった。これも一つの災害の側面です。まさかそんなことが起きるはずがないと思っていることが起きると災害になるわけです。こういうところに住んでいてもやはり注意しなければいけません。この後に目黒先生からそういう話があると思います。

いずれにしましても、こういう町並みをどうやってよくしていったらいいかというのが、「ヒトの目」という話になります。

日本でも快適な町並みの創造、歴史的な町並みの保存、個性ある町並みの喪失など、いろいろなキャッチフレーズで言われていますが、具体的にやるとなると、そう簡単ではありません。都市基盤を快適性という意味でどうやって作っていくかということが一つの話題です。

3.4 トリの目とは



図 3-3 米国ニューオーリンズの洪水の前後（左上：洪水前，右下：洪水後）

2年前のニューオーリンズの洪水の写真で、左上が洪水前、右下が翌日の洪水後です。こういう目で見ると、どこが浸水しているかが非常によく分かります。これを時系列的に、何日目にどこに水がたまって引いていったかというのを調べたのが、次ぎの図です。

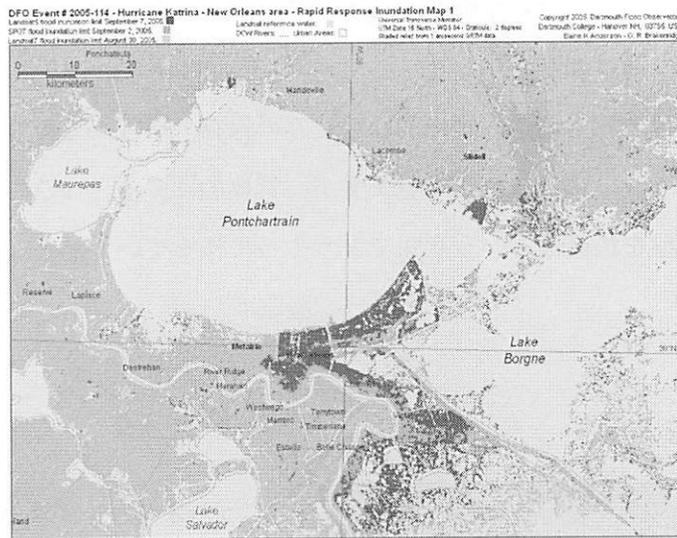


図 3-4 米国ニューオーリンズの洪水被災状況マップ

三次元の衛星データで、最後まで水が残ったのがピンク色と、この色です。これはなかなか「ヒトの目」だけでは分かりません。空から「トリの目」で見ることによって初めて水の引きが分かります。こういう目を見る必要があります。

これはインドネシアの地震直後のスリランカの写真です。津波が押し寄せて、引いて、次に来たものと干渉を起こしている映像です。

身近な例としては茨城県の山の中にある廃棄物不法投棄です。

廃棄物不法投棄の監視

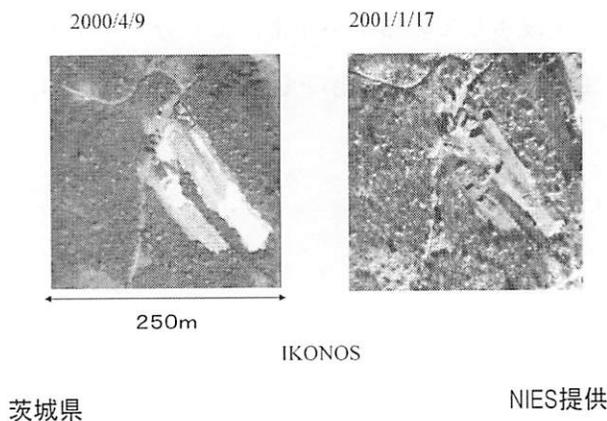


図 3-5 トリの目による廃棄物不法投棄検出（左：投棄前，右：投棄後）

日本だけではなく、廃棄物不法投棄は世界で大変な問題になっています。化学物質が流れて土が悪くなりますが、それだけではなく、もう少し直接的な被害があります。こういうものをどうやって評価するか。

もう少し都市のレベルになりますと、これはヒートアイランドです。

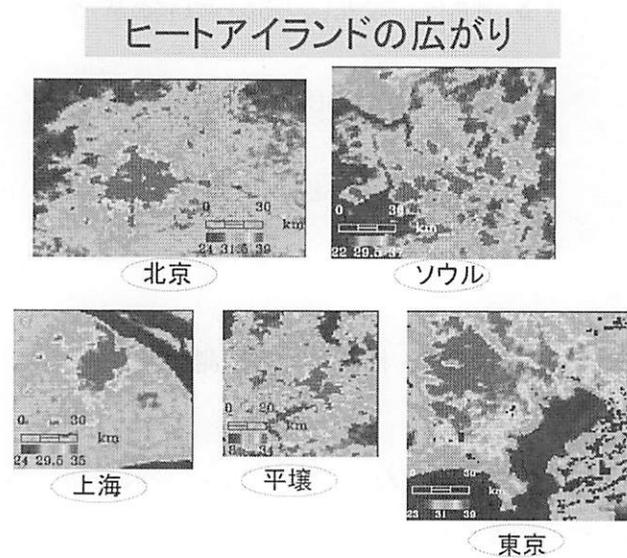


図 3-6 アジアのメガシティにおけるヒートアイランドの広がり

これも後ほどお話いたします。もちろん「ヒトの目」では温度は分かりません。特殊な「トリの目」を使って、温度の分布パターンを調べます。それが植物の分布や建物の分布とどう関係しているかということが重要になります。

3.5 都市はどう変化し、どうなっていくのか？

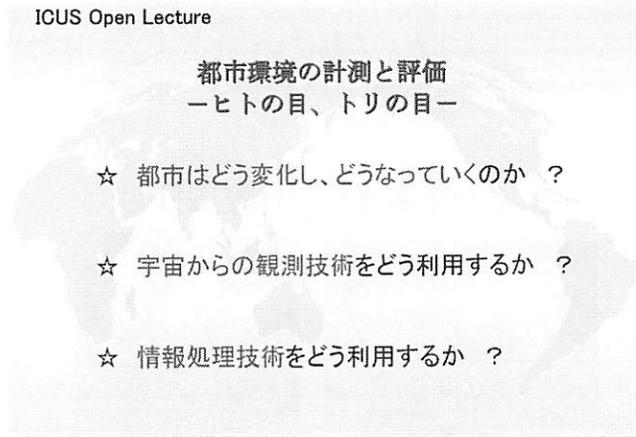


図 3-7 都市環境の計測と評価

今日の話は都市がどう変化し、どうなっていくのか、それを新しい技術でどうやって観測して評価するのか、そういうことについてお話ししたいと思います。

ゴーギャンの「人はどこから来て、どこへ行くのか」という絵があります。それになぞられて「都市とは何か？ どう変化し、どこへ行くのか？」ということをお話ししたいと思います。

3.5.1 我々の周りで起きていること

日本の気温の変化

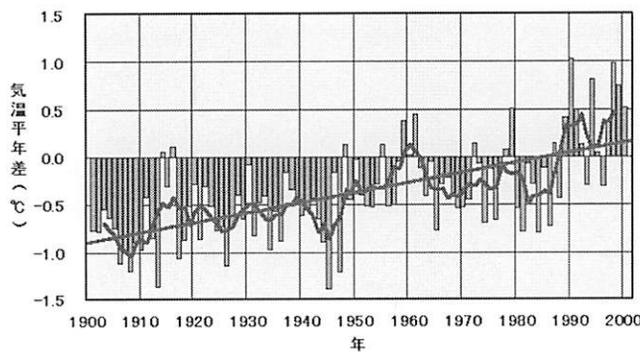


図 3-8 日本の気温の変化

日本の気温の変化で、これはもう皆さんよくご存じです。確かに気温は上がっています。

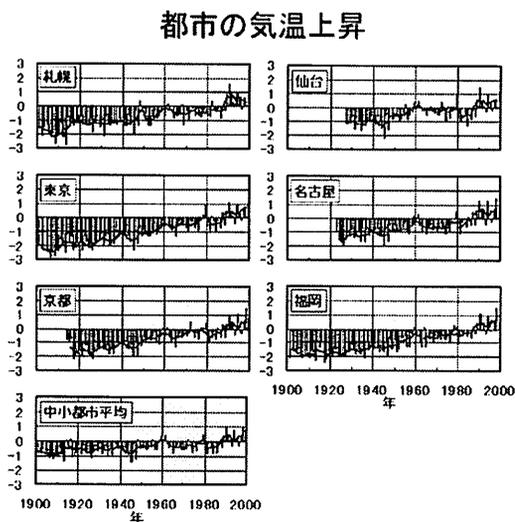


図 3-9 都市別の気温の変化

これを都市別に見ます。地方の中小都市は、大都市に比べて気温の変化が顕著ではありません。そこに何があるのかということが気になります。いずれにしても全体的に気温が上がっていることは間違いない。

京都の暑い日(35度以上)日数

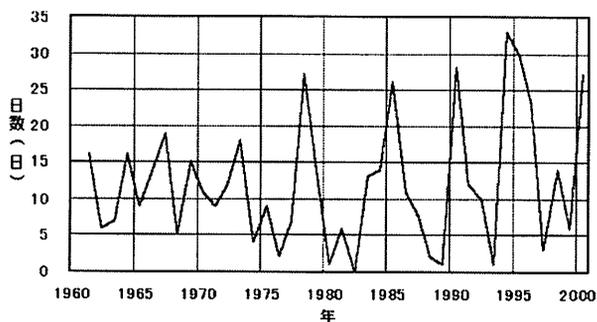


図 3-10 京都市の熱帯夜となる日数の変化

京都は熱帯夜が多いので、その変動を見てみますと、上昇傾向にあり、なおかつ振れ幅が非常に大きくなっています。これは気候モデルでもいろいろなことが言われています。

北日本の真冬日日数

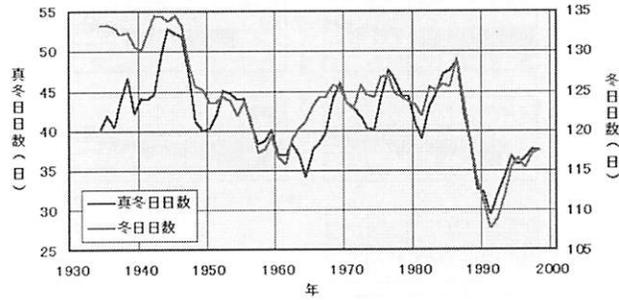


図 3-11 北日本の真冬日日数の変化

これは北日本の真冬日の日数ですが、真冬日は減っていています。全体にある種の流れがあって、都市独特の気候というものもあります。

全球での気温上昇

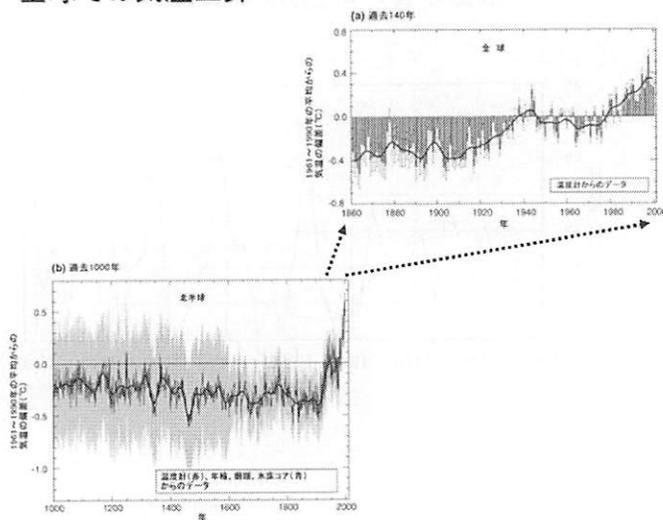


図 3-12 全球での気温変化 (左下：過去 1000 年間，右上：過去 140 年間)

これは全球での気温です。この数百年はこう推移してきて、ここではこれだけ上がっています。これを拡大してみるとこうなるわけです。これに対してこれが一体何を意味するのか。今度出ました IPCC の最新レポートでも、やはりこれは人為影響だということが完全に書き込まれました。

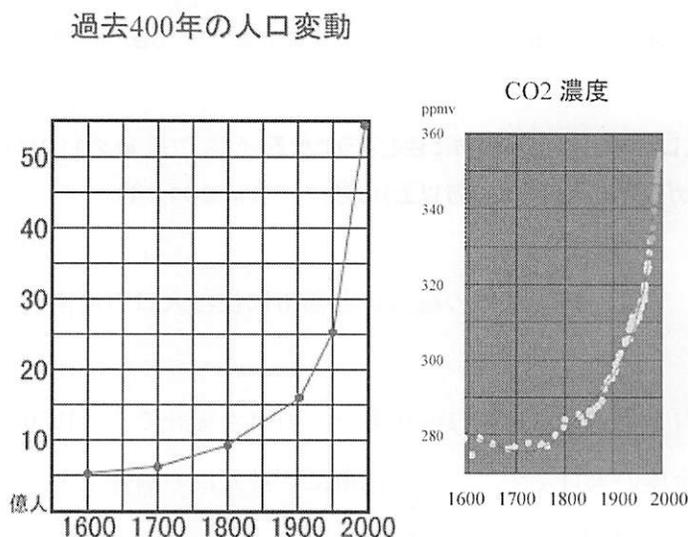


図 3-13 過去 400 年の人口と大気中の二酸化炭素濃度変化
(左：人口，右：二酸化炭素濃度)

左の図は、人口の変動で、右の図は、二酸化炭素です。この一致というのは偶然ではないと思います。

世界の人口と、都市に住む人口の比率（国連）

1950	1970	1990	2010	2030	年
25.2	37.0	53.0	68.4	82.0	億人
29.0	35.9	43.0	50.8	59.9	%

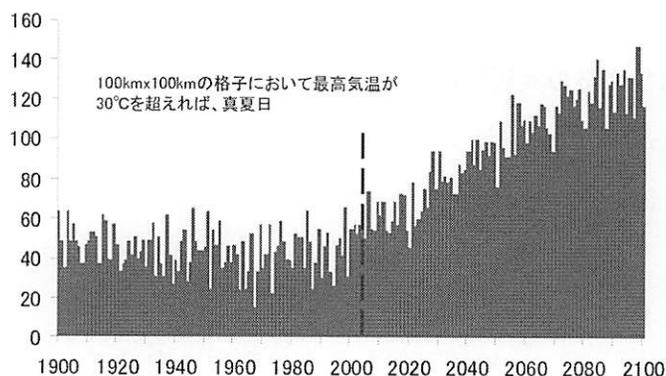
人口の半分以上が都市に住むようになる（33.7億 at 2010年）
 メガシティ(人口1000万以上)の数は 22 at 2015年

図 3-14 世界の総人口と都市に住む人口の比率

これは世界の人口と都市に住む人口の比率で、国連の統計です。1950年から2030年まで見ると、これが全体の人口です。これが都市に住む人口の割合です。人口はもちろん増えていますが、都市に住む人口の比率も増えていきます。2030年では60%という数字になり、人口の半分以上が都市に住むようになります。都市で災害が起きればそれだけ被害が大きくなるということになります。

人口1000万人以上のメガシティの数は22で、さらに増えており、その多くがアジアに偏在しています。我々日本はアジアで何か貢献しなければいけないといわれているわけですが、それに対してどういう視点で貢献していくのか。これは非常に重要な問題だと思います。

日本における真夏日日数の変化



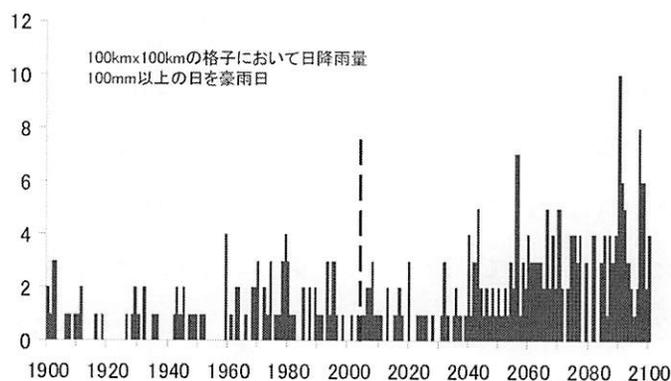
A1B

CCSR-NIES-FRSGC K-1モデルによる(CCSR提供)

図 3-15 気候モデルによる日本の真夏日日数のシミュレーション結果

将来はどうか. これは東大の CCSR (気候システム研究センター) が出したデータで, 日本の真夏日の変化です. 東京大学と国立環境研究所が作りましたモデルで推定したものです. やはり増える傾向にあるというのが分かります.

日本の夏季(6・7・8月)の豪雨日数の変化



A1B

CCSR-NIES-FRSGC K-1モデルによる(CCSR提供)

図 3-16 気候モデルによる日本の夏季における豪雨日数のシミュレーション結果

豪雨の数も増え, 災害が大型化してくるとも言われています. 必ずしも台風の数は増えません. 数十年のオーダーで見ると, 台風の数は増えないけれどもマグニチュードが大き

くなると言われています。これは今得られている最新の予測結果で、先ほど言いました IPCC のレポートにも使われたものです。こういう結果が得られています。

3.5.2 持続可能な都市の実現に向けて

我々がこれからの都市を考えるうえで重要な視点です。都市は今までどうであったのか、今どうなのか、将来はどうなのか、どうすればよくなるか、これが我々の課題です。

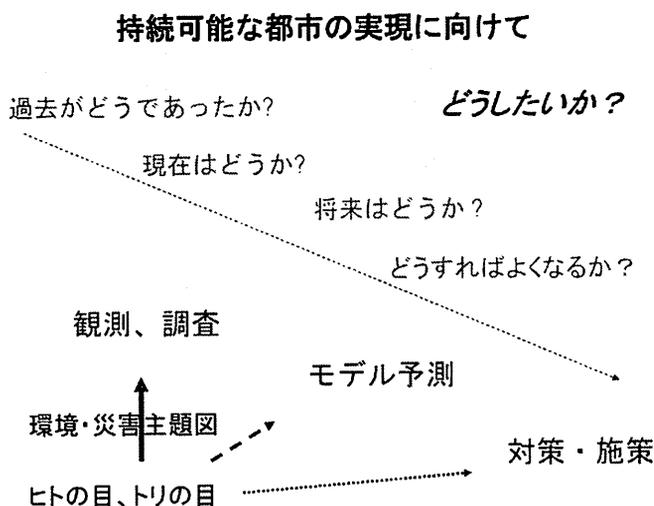


図 3-17 持続可能な都市の実現に向けて

今回のタイトルは「ICUS の活動—これまでの道のり、これからの展望—」ですから、我々の周りで発生していることも一体どうであったのか、将来はようになっていくのかということを見極めないといけない。それを見るためには、いろいろなことをやらなければいけないわけです。例えば観測をして調査するのが第一歩です。それから予測しなければいけない。将来予測が必要です。そうするとモデルが要る。さらにそれに対して対策や施策を講じなければいけない。これが一つのセットです。Monitoring, Modeling, Mitigation の 3M がこれから必要になるでしょう。

これに対して我々はどういう貢献ができるか。「ヒトの目、トリの目」を使ってやりましょうというのが今日の話題になります。まず何よりも我々の住む世界をどうしたいかということが共通のコンセンサスとして得られないと、幾ら対策を採ろうとしてもばらばらになってしまいます。これは非常に重要です。

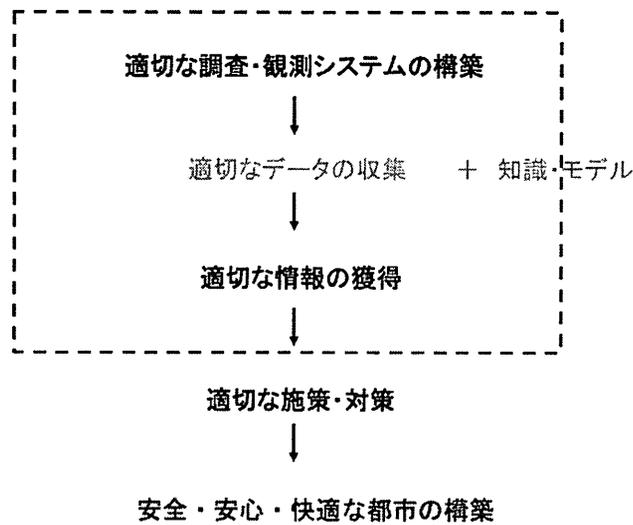


図 3-18 安全・安心・快適な都市の構築に向けて

もう少し狭い範囲で物事を考えます。安全・安心・快適な都市を作りましょうという、ここまでは一応皆さんの合意は取れます。どういう施策を持ったらいいか。それに対しては適切な情報が要ります。適切な情報のためには、適切なデータが要る。これは情報とデータは違うという視点でお話ししています。

最終的には情報が要るわけですが、まず取らなければいけないのはデータです。データを取るためには観測システムが必要です。それは間違いがないけれども、簡単なリニアモデルではなく、我々はこのところを今日お話しいたしますが、適切なデータを収集するのは知識、モデルがしっかりしていないとだめです。

同じデータをもらっても、我々が持っている知識が違くと、別の情報を引き出します。今日は詳しくお話ししませんが、大体直感的にお分かりいただけると思います。皆さんがあるデータをもらったときに、Aさんの知識とBさんの知識が違くと、多分違う情報を引き出します。適切な情報を取るために適切な知識を持ち、適切なデータを取ってやらなければいけません。そのためにどういう観測システムを得るのかというのを見ないといけないのです。

我々の周りでどんなことが起きているか。それに対して何を測るかが決まってきます。「どうしたいか」が決まらなないと、測るものも決まりません。

何を測るか：都市における災害・環境のリスク

- # 災害(洪水、地震、火災、…)
- # 典型7公害
—大気汚染、水質汚濁、騒音、振動、悪臭、
地盤沈下、土壌汚染—
- # 廃棄物、有害化学物質
- # 交通事故
- # 犯罪
- # 不快な景観

図 3-19 都市における災害・環境リスク

ここには幾つかの都市における問題を挙げました。災害や公害、廃棄物、交通事故、犯罪、不快な景観を全部解決するといいい街ができるとは必ずしも言えないかもしれませんが、非常に重要な要素であることは間違いありません。

3.6 宇宙からの観測技術をどう利用するか？

ICUS Open Lecture

**都市環境の計測と評価
—ヒトの目、トリの目—**

- ☆ 都市はどう変化し、どうなっていくのか？
- ☆ 宇宙からの観測技術をどう利用するか？
- ☆ 情報処理技術をどう利用するか？

図 3-20 宇宙からの観測技術をどう利用するか？

それをどうしようかということで、少し技術的なお話をしたいと思います。ここから先が今日の核論になります。まず、宇宙から見る。先ほどの「トリの目」で、「トリの目」を先にさせていただきます。

3.6.1 宇宙から見るトリの目とは

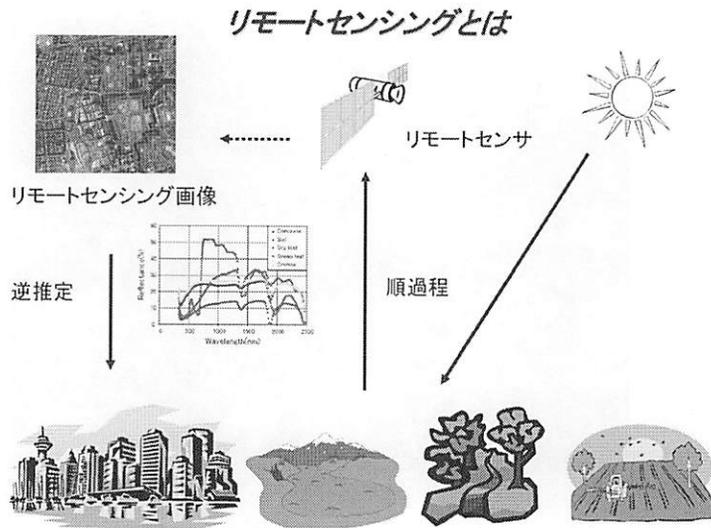


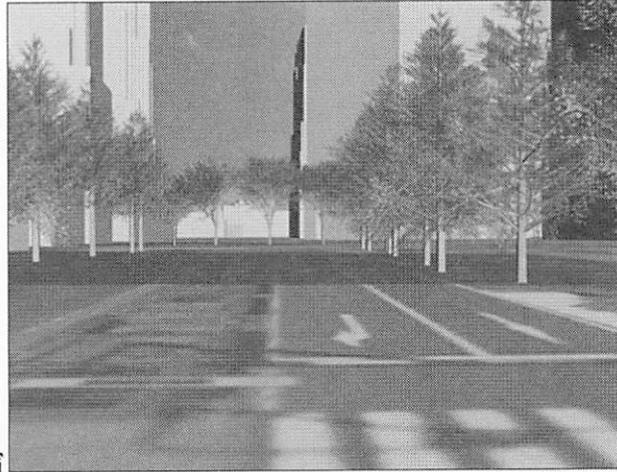
図 3-21 「トリの目」とは宇宙からのリモートセンシング

「トリの目」というのは、人工衛星や航空機を使って地表面の状態を観測する技術です。通常は太陽の光が地表面に当たり反射し、上空に上がっていく。それをリモートセンサで測り、そこでデータが得られたら、それから地表面の状態を逆計算します。逆推定のプロセスと言われます。

例えば生研の隣の建物の屋上に人工衛星の受信機を置いてあります。生産技術研究所は日本でも数少ない大学が人工衛星の受信をしているところです。生研は駒場の屋上と、バンコクの AIT (アジア工科大学) の 2 か所で毎日受信して、東アジアをカバーしています。安岡研究室のホームページ (<http://yasulab.iis.u-tokyo.ac.jp/>) に入ってくださいと、今まで二十数年間取ってきた衛星のデータが全部見られます。そういうデータを使って、こういう図を作っています。こういうものをダウンロードできるようになっていしますので、興味があるかたはやってください。

これは左側が海面水温、右側が植物の活性度を出しており、12 か月のデータです。夏になると水温が上がってくると同時に、植物の緑色が強くなる。こういう動きが分かるわけです。こういうデータが毎日取られています。

都市の3次元情報



西新宿

図 3-22 「トリの目」から作成した新宿副都心の3次元データ

ちょっと不思議に思われるかもしれませんが、これは新宿副都心です。リモートセンシング、宇宙からの目で都市の三次元を全部起こして、植物も宇宙から推定して作ったものです。リモートセンシングで測った都市の三次元の構造です。

リモートセンシングで観測するもの

- # 空間分布に関する情報
- # 時間変化に関する情報
- # 分光特性（色）に関する情報

図 3-23 リモートセンシングで観測するもの

リモートセンシングで何を観測するかというと、当然空間分布を測ることができます。ある種のカメラで宇宙から見るようなものですから、空間分布を知ることができます。こ

これは非常に大きな利点です。間を置いて取ることで、変化が見られる。これも大きな特徴です。先ほどのニューオリンズの水がどうやって引いていったか、これは時間軸をもって測らなければいけません。それから地表面の色を見る。皆さんが飛行機に乗って東京から大阪に飛ぶときに、上から下を観測すればいろいろなものが見えます。残念ながら、夜は見られるものが少ない。ただ、どこに都市があるかは上から光を見れば分かりますよね。それを分光特性と言います。したがって空間特性、時間特性、色の特性が分かるというのがリモートセンシングの特色です。

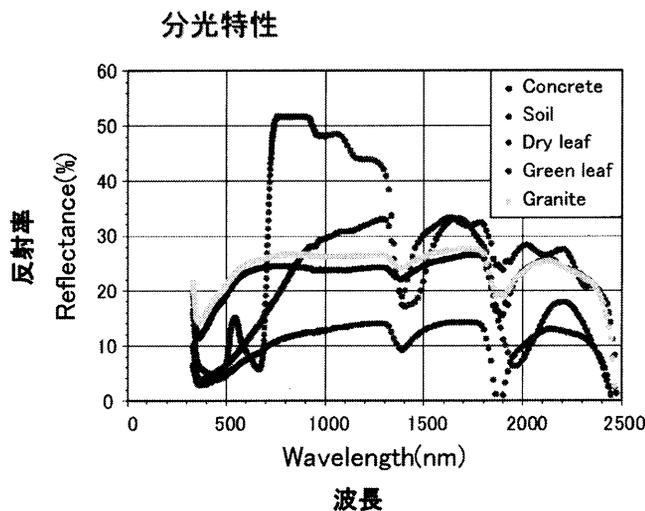


図 3-24 対象物と分光特性との関係

これは横軸が波長で、この辺が紫色です。紫・藍・青・緑・黄・橙・赤というのが、大体ここからここぐらいまでです。この辺からこの辺の波長までが人間が見られる範囲で、それ以外は人間の目に見えない範囲です。

ここは緑色のところで、緑色が高くなっている。だから植物が緑色に見えているわけです。ほかのものは緑色ではありません。これはある種の土壌ですが、別の色です。いろいろな波長で見ますと全然違って見えます。つまりこのパターンを見ると、対象が何であるか、どういう状態にあるかが分かるという技術です。

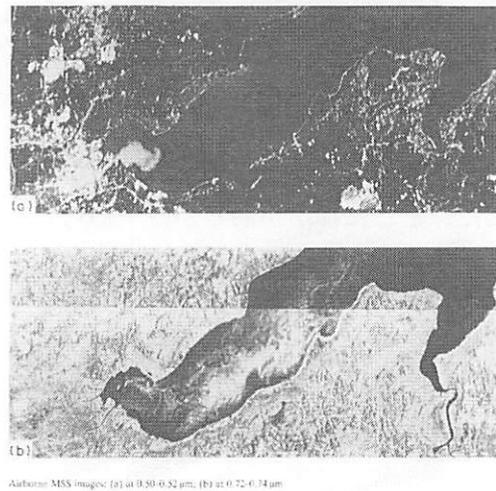


図 3-25 計測波長と対象物との関係 (上:汚濁 (0.5-0.52nm), 下:アオコ (0.72-0.74nm))

これは霞ヶ浦，こちらは土浦です．土浦の飲料水の取水口はこの辺にあります．これは古いデータですが，上の写真では，川から流れ込んだ濁水が見えています．ところが，下の写真のように近赤外波長で見るとその濁水は見えておらず，真ん中に何か白っぽいものが見えます．これはアオコが大量発生して増えたのです．濁水とアオコがちゃんと分かれて見える．両方とも，暗いところというのはきれいな水のところです．この2枚の画像を見るだけでも，きれいな水なのか，アオコで汚れた水なのか，土砂で汚れた水なのか分かります．この濃淡を見ると，濃度が少しずつ変わっています．これは白くなって，これは暗い．この濃度を見るとそこにあるクロロフィルの量が分かる．これがリモートセンサの原理です．こういう原理を使って，いろいろなものを測ります．

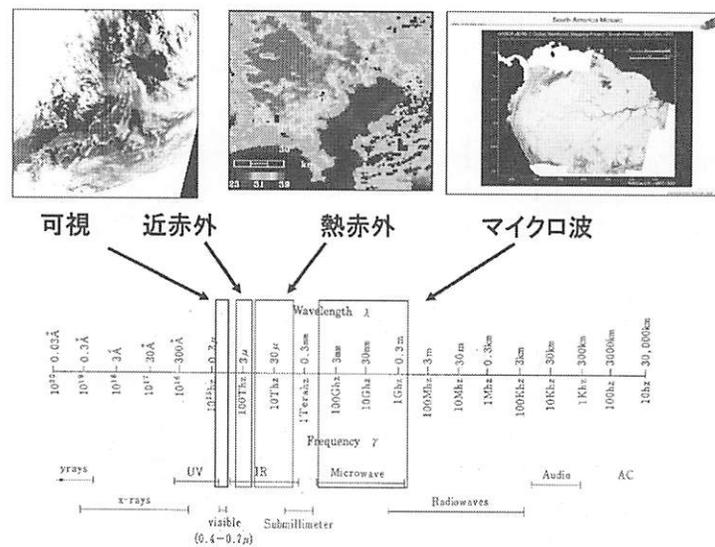


図 3-26 リモートセンシングに利用される波長域

今お話ししましたように、人間の目に見える範囲はこの辺で、非常に狭い範囲です。ところが、電磁波にはガンマ線から X 線、熱赤外、赤外の範囲、マイクロ波の範囲、ラジオ波など、すごく広い波長があって、機械を使ってやると、こういうところも見ることができる。人間の目に見えない現象を見ることができます。

これは普通の可視域で見た画像で、雲があると地表面が見えません。ところがマイクロ波を使ってやると、雲があってもそれを透過して見ることができるという特徴があります。これはヒートアイランドの赤外です。見る波長によって全然違うものが見られるというのが、リモートセンシングの強いところです。

葉の分光スペクトル

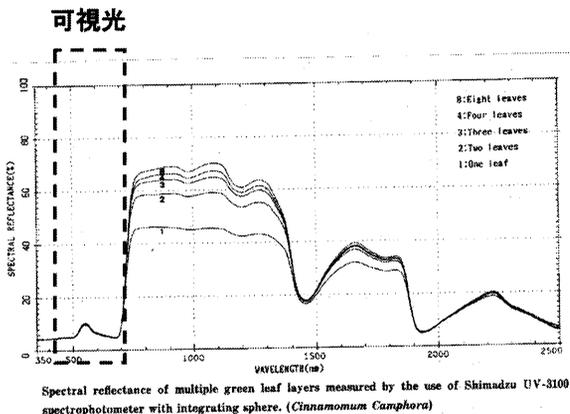


図 3-27 植物の葉の分光特性

これは植物の葉のスペクトルで、ここが先ほど言った緑です。植物の葉は緑色に見えるのは、それはここが高いからです。緑色だけが反射が強いのです。人間の目に見える範囲はこの範囲だけです。皆さんが葉っぱを持ってきて、緑色を見る。その後ろに葉っぱをもう1枚入れる。でも、別に緑色は変わりませんね。いちばん表側の緑だけが見えます。そうすると何枚置いたか分からない。

ところが、全然違う範囲を見てみます。人間の目に見えない範囲で、機械でこの範囲を見てやると、葉っぱを重ねるごとに反射率が高くなります。そうすると宇宙から見て、どれだけの葉があるかが分かります。これが緑の量です。こういう目を使うと、我々が見るものと全然違ったものが見えます。

3.6.2 トリの目で見る都市

トリの目で観る都市

☆ ヒートアイランド

☆ 3次元の景観

☆ 都市の変化

図 3-28 トリの目で観る都市

今日は時間の関係で、三つだけをご紹介します。まず、ヒートアイランドです。

3.6.2.1 ヒートアイランド

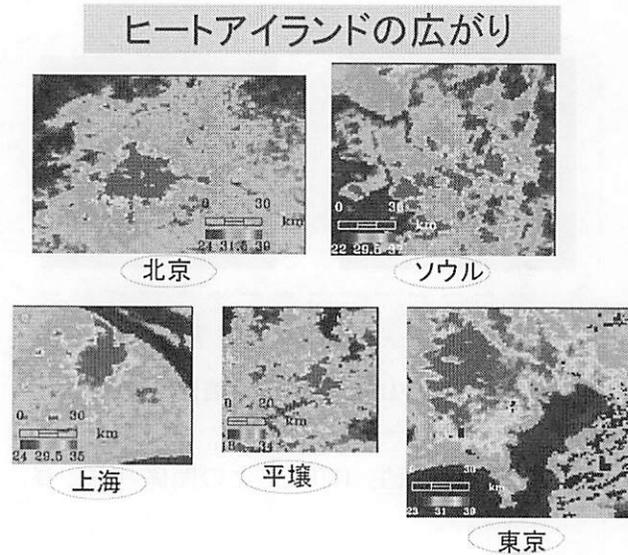


図 3-29 アジアのメガシティの地表面温度分布

これはアジアのメガシティの熱の分布です。例えば東京，ソウル，平壤は全体に暗いですね。温度がまだ上がっていません。

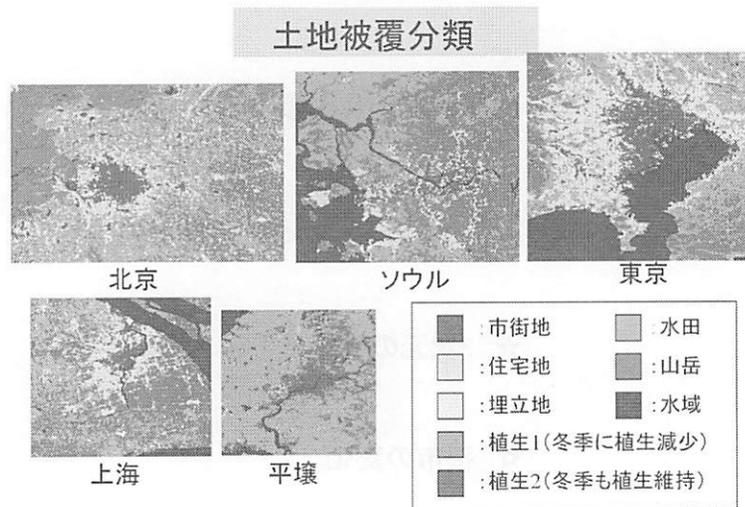
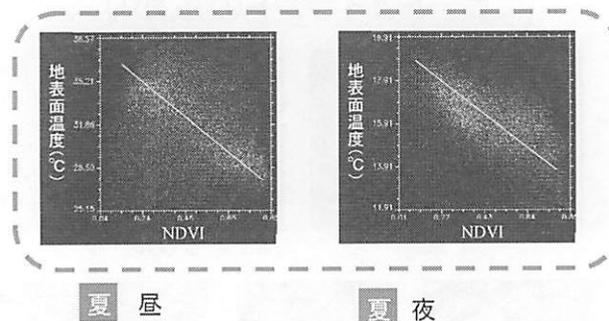


図 3-30 アジアのメガシティの土地被覆分布

これは土地被覆分布で、地表面が何で覆われているかという情報です。

地表面温度 - NDVI の関係 [東京]



緑が多い(NDVIが高い)ほど地表面温度は低い

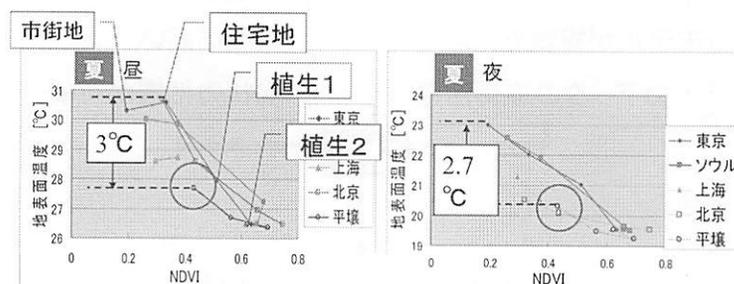
図 3-31 地表面温度と植生 (NDVI) との関係 (左: 昼, 右: 夜)

地表面温度と植物の量との関係を解析した結果がこのスライドです。左図は、夏の昼、右図は、夏の夜です。横軸は NDVI (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index), 植物の量です。左側が、多いほう、右側が、少ないほうです。縦軸は地表面の温度です。東京の夏の昼を見ると、地表面の温度が高い。高いところは植物が少ない。こういうカー

ブで、こういう傾向が見られます。夜も同じです。

これは何を意味しているかというと、植物を植えてやれば気温が下がりますということです。

都市間 地表面温度比較



東京、ソウル、上海、北京、平壤

図 3-32 アジアのメガシティにおける地表面温度と植生との関係 (左：昼，右：夜)

これが世界の都市でどう違うのかというのを見てみます。同じく横軸が植物の量で、縦軸が気温です。東京、ソウル、上海、北京、どれを見ても同じような傾向にあります。夏で見ると平壤と東京では約3度違うというのが見えてきます。ヒートアイランドをなくするためには東京が平壤のようになったほうが良いということでは決してないのですが、そういうことがあるというのは事実です。これも同じで、温度の高いところは市街地です。住宅地、植生、住宅地の植生です。これは新宿御苑など、まとまった緑があるところで、こういうところは温度が下がっているという傾向が見えてきます。これは世界のどの都市を取っても同じです。温度の差を見てください。都市によって違います。先ほどお話ししましたように、メガシティがどんどん増えてくるということは、直線的なリニアモデルを使うことはできませんが、都市はだんだん大きくなって、気温が上がってくる。そこに温暖化が重なると何が起きるだろうか。早く対策を採らないといけないでしょう。

ヒートアイランドの現象は、衛星データを使えば現状までは分かります。過去にどう移ってきたかということも分かります。でも、将来どうなるかということとは分かりません。そのためにはモデルが必要になります。先ほど紹介していただいた大岡先生はこの分野の

専門家です。今日はお話しできませんが、そのうちレクチャーの時間に説明していただくとおもいます。

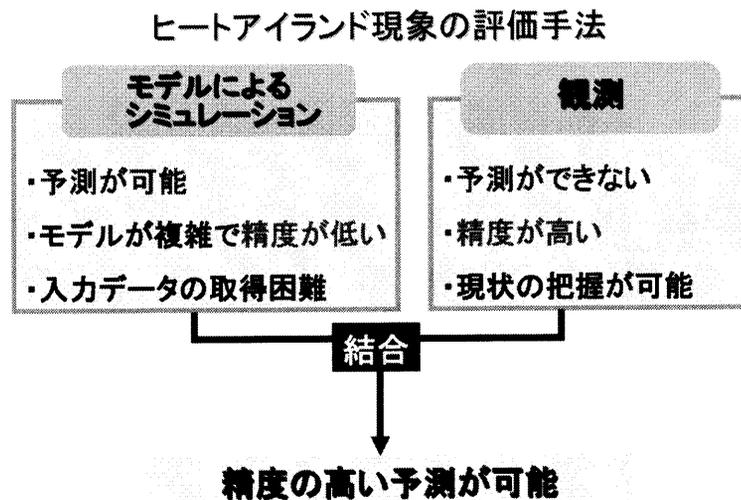


図 3-33 ヒートアイランドの評価手法

我々は精度の高い観測もできますし、現状の把握もできますが、予測はできません。モデルは予測ができる。ところが、やはりモデルは複雑ですから、都市のモデルを全部作ることにはできないわけです。データを取るのも難しい。では、それを一緒にしてやろうかということを考えます。観測とモデルを結合して精度の高い予測をやろうではないか。それをやってみます。

気候モデルとの結合によるヒートアイランドシミュレーション

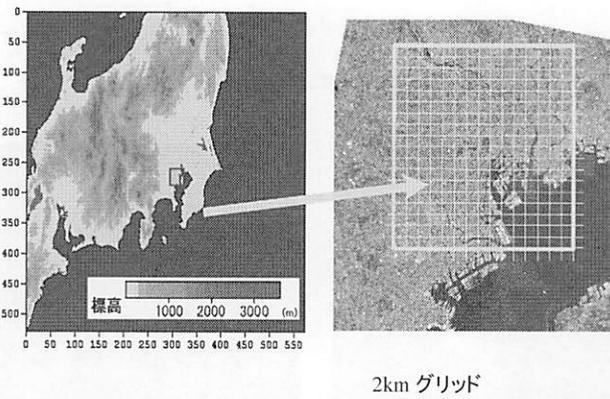


図 3-34 気候モデルと衛星データとの結合によるヒートアイランドシミュレーション

ちょっと細かい話になりますので省略しますが、日本全体の中で東京のこの部分だけを見ます。

①植生群、建物群の3次元構造分布を表すデータセット作成

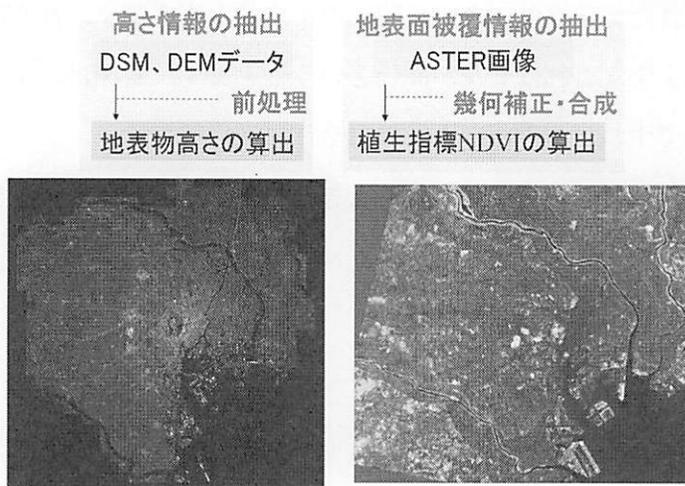


図 3-35 気候モデルのための衛星データによる建物の高さおよび植物の分布の抽出
(左：建物高さ，右：植生分布)

都市の建物の情報を入れてやります。建物の高さ，植物の分布の情報が衛星データから取られます。最新の情報が手に入る。そうすると，建物を全部なくしてしまうとか，植物

を全部なくしてしまったときにヒートアイランドはどうなるかということをやってみたいということになるわけです。

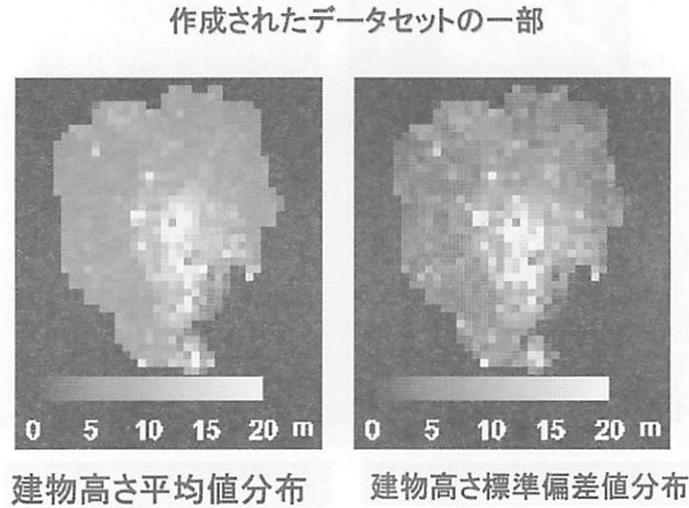
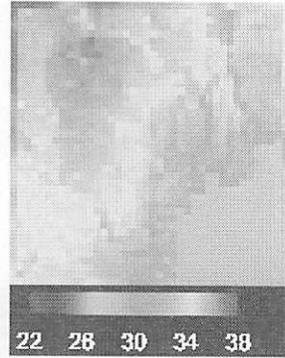


図 3-36 気候モデルの解像度に合わせた建物の高さの平均値 (左) および標準偏差値分布 (右)

左図は、作成されたデータセットで、建物の平均的な高さです。都心部ですから高いところは白っぽく出ます。これはビルが高いということです。右図は、平均的に高い。これは標準偏差、分散ですね。こういうところは全体に低い値で均一。こういうところは高い値もあるけれども、低い値もあって分散も大きい。こういう情報を衛星データで持ってきて、モデルに入れる。

仮想条件下での数値解析

結果（建物を全域で同平均値、同標準偏差値により分布させることによる影響）



建物高さ分布:現状



建物高さ分布:全メッシュ様

図 3-37 衛星データから得られた結果を気候モデルに入力したヒートアイランドシミュレーション結果（左：現状の建物高さ利用，右：全メッシュ様として建物高さ分布を利用）

例は一部しかお見せませんが、これが現状です。東京の建物の高さを全部均一にしてしまうと、温度はどうなるか。この辺は高い温度が見えています。都心部はこの辺ですね。ちょっと北西部に高い温度が出ます。ヒートアイランドは都心の真ん中でなくて、郊外に出る傾向が高いのです。これは7月の昼だったと思います。建物の高さを全部一様にしてしまうと、うんと高いところは少し減ります。しかし全体に何となくだらっとする感じになります。

仮想条件下での数値解析

結果 (建物を全域で同平均値、同標準偏差値により分布させることによる影響)

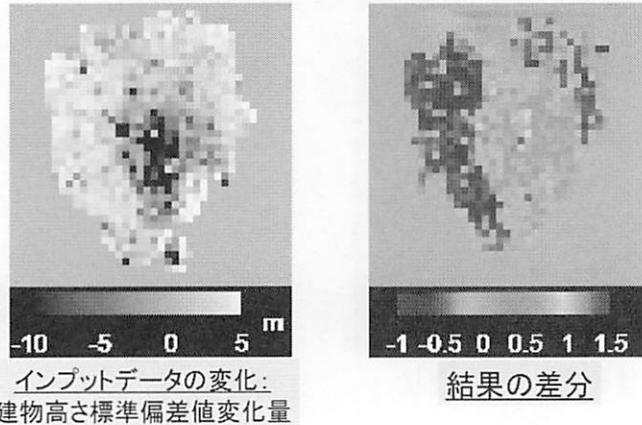


図 3-38 ヒートアイランド現象が卓越している都心のエリア

これが差分を取ったもので、全部ならした場合と現状で見ると、この辺に大きな差が見られます。これは都心部ですから、ある程度分かります。都心部の高いビルは全部ならされてしまうわけですから、変わる。

仮想条件下での数値解析

樹木をなくすことによる影響

- ・場所によって変化が異なる
- ・気温上昇、気温低下
共に見られる。

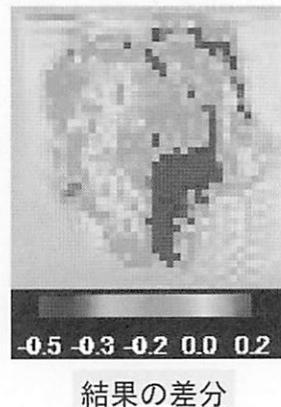


図 3-39 樹木を無くした場合の都心の気温分布

これは樹木を全部なくしてしまった場合です。そうすると、ここは低くなって、こちらは高くなる。植物を全部なくすと、こういうことになります。こういうシミュレーション

は、やはり将来の予測はモデルを使わないとできません。

リモートセンシングデータの解析 — どんな情報が得られるか —

- ・ 定性的情報
土地被覆(利用)分類、植生分類
- ・ 定量的情報
水質分布、大気汚染分布、植物活性度、降水量
- ・ 3次元情報
地形、建物、樹高
- ・ 経時変化情報
土地被覆の変化

図 3-40 リモートセンシングデータから得られる情報

それに対して非常に精度の高い観測値を与えてやろうというのが、この目的になります。リモートセンシングというのは、いろいろな情報が手に入ります。定性的情報、定量的情報を、いかにうまく都市のために使うか。

3.6.2.2 3次元の景観

樹高計測: レーザースキャナー

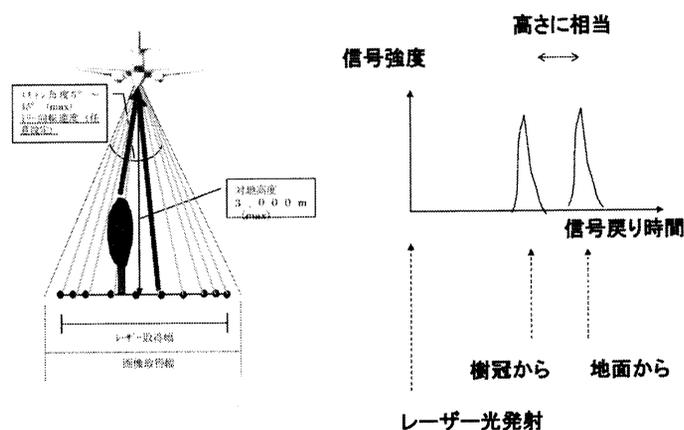


図 3-41 レーザービームによる高さ計測原理

高さを測る。これはレーザーを発射して、地表面から返ってくるものを受ける。建物や樹木があると、距離が短いので、返ってくるまでの時間が短くなります。この差を取ると高さに相当します。これはレーザーを発射して、戻ってくるまでの時間です。建物があると速く戻ってくるので、その差を見ると高さが分かる。

これは青森県の植林地で、木が1本1本見えます。こういう情報を使う。

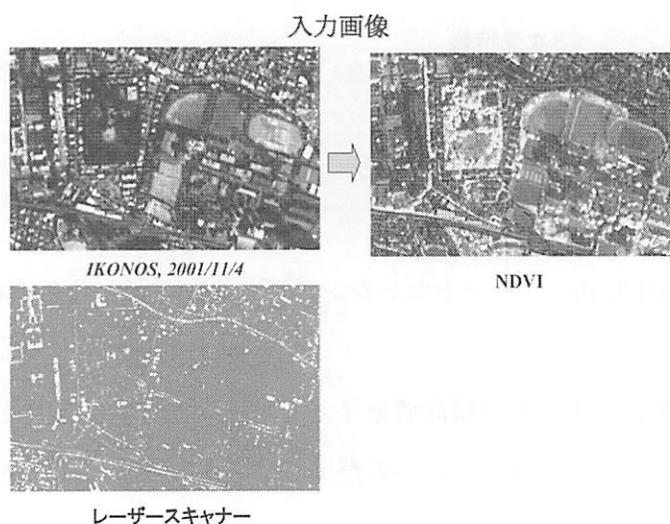


図 3-42 駒場キャンパスのリモートセンシングデータ（左上図：可視画像，左下図：レーザースカナーデータ，右上図：NDVI データ）

これは駒場のキャンパスです。駒場の教養学部があつて、ここが生研です。ここは駒場公園です。これは生研の隣の高いビルです。これで植生指数、樹木を取っ払ってやる。

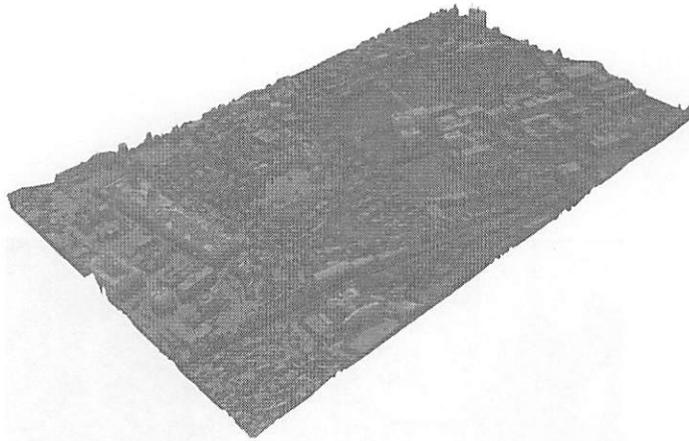


図 3-43 駒場キャンパスの DEM (Digital Elevation Model)

これは工事中の建物です。ちょっと古いですね。4年ぐらい前になります。これが先端研の建物で、これが高いところですよ。こういうものから三次元を起こす。

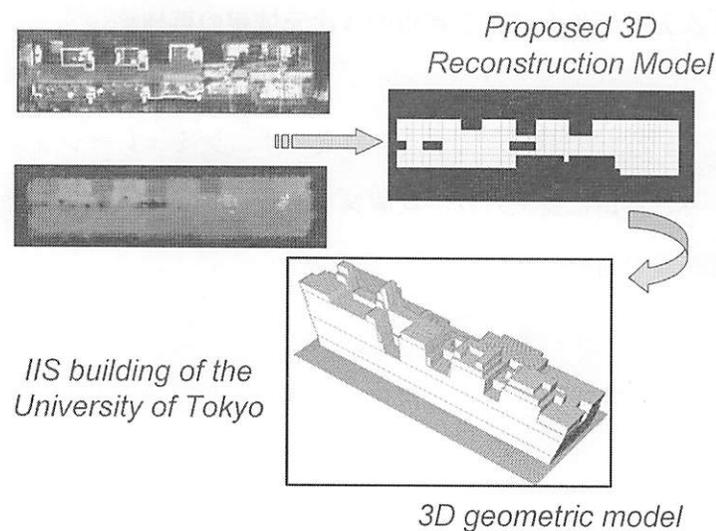


図 3-44 建物形状の再構築方法

これはワイヤーフレームモデルといって、建物をワイヤーで表現したものです。かなり精度が高いものです。これは生研の建物です。このぐらいの精度で、高さ1mです。衛星データと航空機を使ったレーザーデータで、三次元を起こしてやると、このぐらいの非常に

高い精度でできます。

樹木をどうするか。やはり樹木も一緒にやりたいとなると、人工衛星のデータから樹幹の大きさと種類を出してやり、それを木の成長モデルに結びつけます。

都市の3次元情報



西新宿

図 3-45 リモートセンシングデータから推定した変数を利用した植物成長モデルの出力結果と都市の3次元モデルとによる都市の3次元情報の再構築

そうすると、こういうものができます。今は夏です。シミュレーションモデルを使っていますから、秋、冬と自由に変えられ、景観シミュレーションができます。樹木の場所と種類は非常に精度が高いものです。

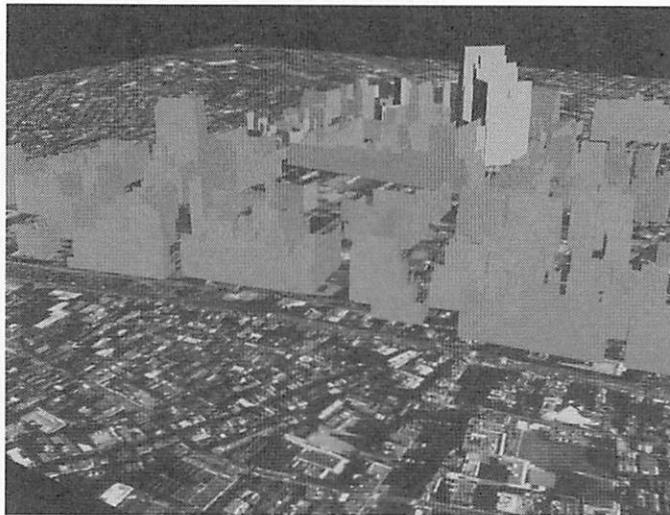


図 3-46 レーザーデータを用いた本郷キャンパスの建物再構築結果

建物も一見するとのっぺらぼうで、上から見ると横が見えないので張りついていませんが、基本的には本物の建物の構造がそのようになっている。ただ、残念ながら丸い建物は抽出できません。これは本郷キャンパスで、これが安田講堂です。理学部の1号館です。新しい医学部のビル。これが理学部、これが医学部。これは東大の建物を全部起こしたものです。動画にしてやると、こういうものができる。こういうものが災害のシミュレーションでも今後使われていくだろうという気がします。

3.6.2.3 都市の変化

リモートセンシングは、変化を見るということでも非常に強い。これは1972年の博多だと思います。1991年はこうなっています。では、今はどうなっていますか。その変化を見るということも、衛星データを使うとできる。

時間的変化解析

	1986年	1993年	変化
埼玉県飯能市 ゴルフコース (変化地区)			
東京都 羽田空港 (変化地区)			
東京都 狭山丘陵 (無変化地区)			

図 3-47 リモートセンシングを用いた変化抽出解析結果

これはいろいろな特徴的なところですが、ゴルフ場ができたところ、羽田が拡張されたところ、これは住宅地で、あまり変化がないところですが、こういうものが見えてくる。

都市洪水による土砂流出

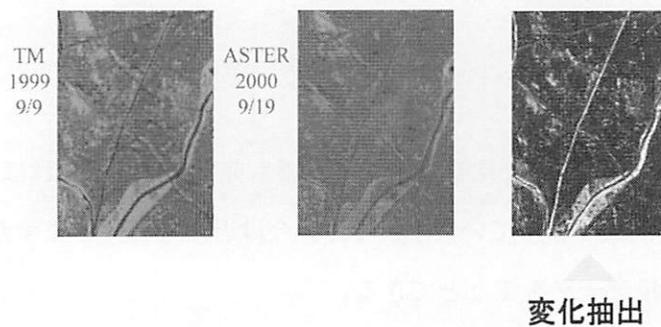


図 3-48 都市洪水の変化抽出結果

これは 2000 年の名古屋の大洪水ではんらんしたときです。その直前と直後で取れたデータから、どこが土砂で汚れたか、冠水したところを評価したのです。

これは有珠山の爆発で、爆発前、爆発後、茶色っぽくなっていますが、これは火山灰が

積もったところです。特殊な手法を使って評価してやると、このようにできます。これは茨城県の廃棄物の不法投棄のようすです。あつという間にどんどん大きくなってきたのが見えます。

3.6.3 リモートセンシングの最前線

リモートとセンシングはいろいろな進歩を遂げています。

リモートセンシングの最前線 センサ技術

1. ハイパースペイシャル
10m から 10cm へ
2. ハイパースペクトル
100nm から 10nm へ
3. マイクロ波
可視・近赤外からマイクロ波へ
4. 3次元計測
面から立体へ

図 3-49 リモートセンシング技術の最前線

今日は時間がないのでご紹介できませんが、技術的にはこの十数年で格段の進歩を遂げています。それをどんどん使ってやる。

コンクリート劣化
ハイパースペクトル計測



中性化

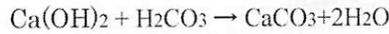
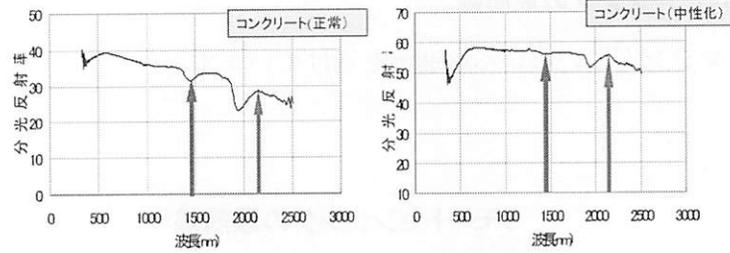


図 3-50 ハイパースペクトル計測で見るコンクリート劣化現象

これは魚本先生と生研ならではのことをやった例でして、先ほど魚本先生はコンクリートの話をされましたが、コンクリートの劣化をリモートセンシングの手法で測る。人工衛星からではありませんが、分光特性で測ってやると、正常なコンクリートと中性化したコンクリートではスペクトルが違います。これは硫酸塩劣化で、スペクトルの形が変わります。そうすると検査をしなくても自動的に見られるのではないか。これもリモートセンシングです。その劣化の深さを見ると、実測値と推定値の間で、かなりの相関が見られる。こういうことも将来的には使っていけるのではないか。

3.7 情報処理技術をどう利用するか？

最後に情報処理技術，景観の話をしたと思います。



図 3-51 景観をどう計る

空から見るのは非常に有効な手法ですが，先ほど言った，この街はきれいな街か，歴史的な街か，これは残念ながら上からだけでは分かりません。

景観の評価

人間の主観的判断による評価

心理評価実験

景観像をもとにした客観的評価

画像からの評価要因計測

図 3-52 景観の評価

これが何できれいに見えるかというのはけっこう難しい問題です。例えばこれがアメリカ的か，日本的かというのを，画像を入れただけで計算機に答えさせるのはなかなか難し

いのです。これも何で日本的と感じるかというのはけっこう難しいです。ただ、面白いと思います。何でというのが分かってくると、ではどこを変えるかというところに結びつけてきます。

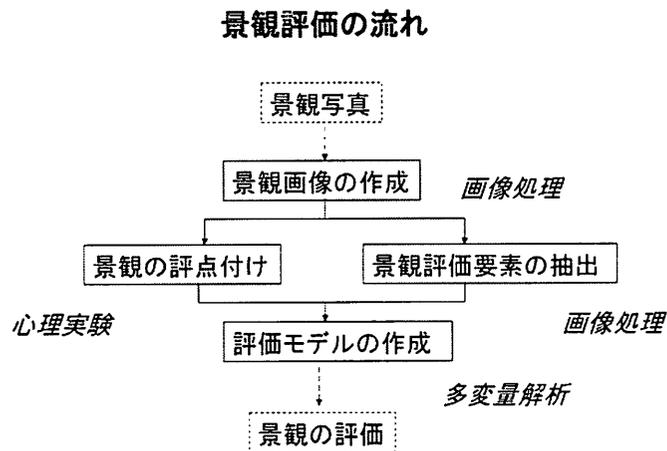


図 3-53 景観評価の流れ

こういう技術を使って景観を評価しようということで、実は私がだいぶ前にやっていた研究です。基本的には景観は人間が判断せざるを得ない。だから「ヒトの目」になります。主観的な判断は、やはり人間がせざるを得ない。しかし、人間も写真を見て判断していますから、写真の中には客観的な情報があるはずで。そうすると、その両方を結びつけられないか。

例えば景観の写真を見せて、心理実験をやって、一方で画像処理で景観の中にどのような要素があるかを引き出し、それを結びつけてやれば、どういうタイプの人、例えば年齢層や、女性と男性に分けるなど、人のいろいろな特性にしたがって景観の評価のモデルが違って来ようということが想像できます。このようなことをやっています。



図 3-54 街路の修景案（左：元画像，右上：電信柱除去，右下：街路樹植栽）

これは 20 年ぐらい前に作った古いデータで，札幌の郊外の住宅地です．これは札幌のかたから写真を頂きました．この景観をよくしてみましよう．電柱を消しましよう，街路樹を植えてみましよう．この街路樹もほかの写真から取ってきて植えたもので，人工的に作ったものです．こういうものを皆さんにお見せして，ここで評点をつけてもらう．計算機が景観を変えていますから，何をどう変えたかは計算機が分かっている．そうして評点が上がった，下がったということをつ結びつけてやれば，この結果は何が原因で評点が上がったのかが分かります．これを見ていただければ分かります．今度は下から変わりました．昔の計算機はスクリーンが上から出てくるようになっていまして，私がいちばん初めに皆さんにご紹介したときは，こういう上からのものでしたが，下から生えるものも作りました．

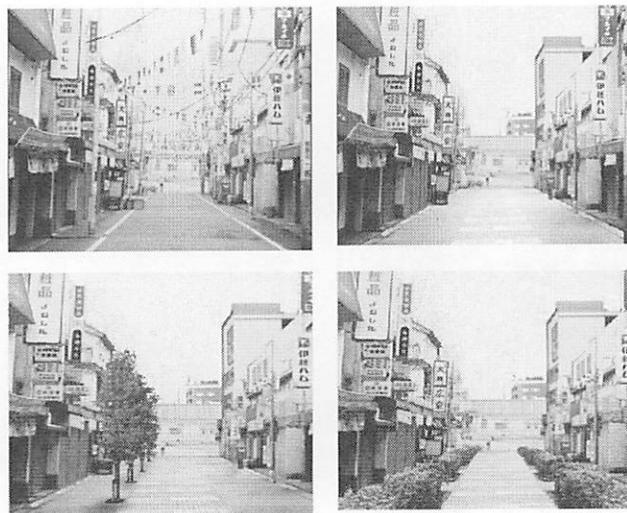


図 3-55 商店街の修景案（左上：元画像，右上：万国旗除去および舗道化，左下：建物のセットバックおよび中木の植栽，右下：低木の植栽）

これは東京の武蔵境で，今はもう変わっています．これは二十数年前にまちづくりの実験が始まったときに，テレビで紹介されたということもあって，武蔵市のかたが来られて「これを使って何としてもやってほしい」ということでやった例です．緑の種類をいろいろ変えたりしました．これが原画像です．万国旗が何となく田舎っぽかったので，すぐに取りました．後で聞いてみると，商店街のかたが一生懸命作ったという話がありました．

これは何をしたかというと，商店街や周りの住宅地のかたを全部研究所にお呼びして，評点づくりをしたのです．どういう街が好まれるかというのを，この手法を使ってやりました．評点がいちばん高かったのはこれです．緑があって，下も何となく舗道化しました．それでも田舎っぽいですが，建物も少しセットバックして道を広げています．そういう計画があったのです．ただ，お店のかたも実験に参加されるということで，自分の店をかってに変えたということになるとまずいので，評価実験に影響を及ぼしますから，そのままセットバックさせています．こういうことをやって，いろいろな景観を作りました．

ちょっと評判になったということもあり，日本全国から写真が送られてきてまして，数千シーンを作りました．これは組み合わせで幾らでも変わります．舗道の色も 10 種類ぐらい作りました．樹木の種類も変える．例えばここは 2 種類入っていますが，2 種類で色を 10 種類変えれば 20 種類の景観ができます．それ電柱があるもの，ないものを組み合わせると，一つのケースであつという間に 100 シーンぐらいできてしまいます．

景観評価のモデル

$$\text{景観の評点} = f(\text{景観要素1、要素2、要素3、}\dots)$$

(多変量解析)

↑
心理実験より

↑
画像処理より

.....
差分評価モデル

景観の評点の変化

$$= f(\text{景観の要素1の変化、要素2の変化、}\dots)$$

図 3-56 景観評価のモデル

それを今度は計算機に入れて、住民のかたと評価実験をやる。

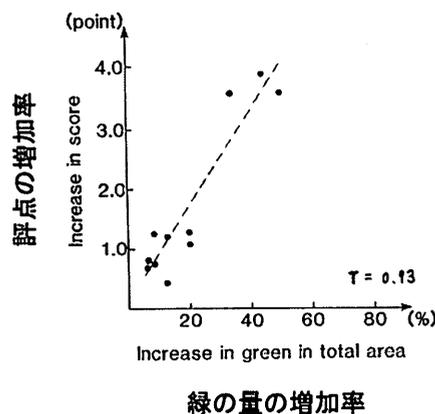


図 3-57 緑の量と評点との関係

例えば緑の量が増えると評点が上がります。ところが、これは確実に下がります。緑が多すぎたらだめです。ピークがどこにあるかを見る。電柱を除去すると何点か、樹木を追加したら何点か。こういうことが見えてきて、まちづくりの基礎データができる。景観写真を作ると臨場感もできるということで、いろいろな利用のしかたがあります。

3.8 まとめ

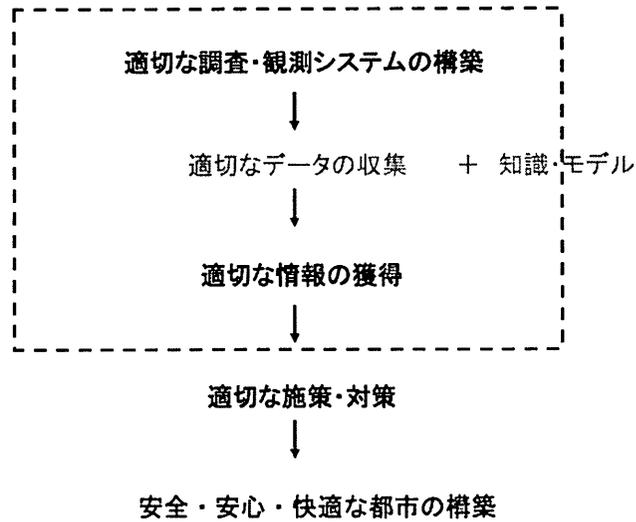


図 3-58 安全・安心・快適な都市の構築のためのフロー

いい街を作るためには適切な知識とデータが必要です。適切なデータベースというのは一体何なのかということとはなかなか難しい。何をしなければいけないかというのは、まずどうしたいかというみんなのコンセンサスを得ることが非常に重要です。それをやるために何を変えたらいいかという変数を選び、その関係を記述する。何をどう変えたら何が上がるのかということを経験的に作っていかなければいけない。これを空間的、時間的に、いろいろな項目について継続的に測って、都市を作っていく。これが重要です。

まとめ

- ポイントA 基本的な理念の共有化
- ポイントB 基本目標の設定
- ポイントC 適切な施策・対策の立案
- ポイントD 適切な情報の獲得と共有
 - 適切なデータと知識(モデル)の獲得

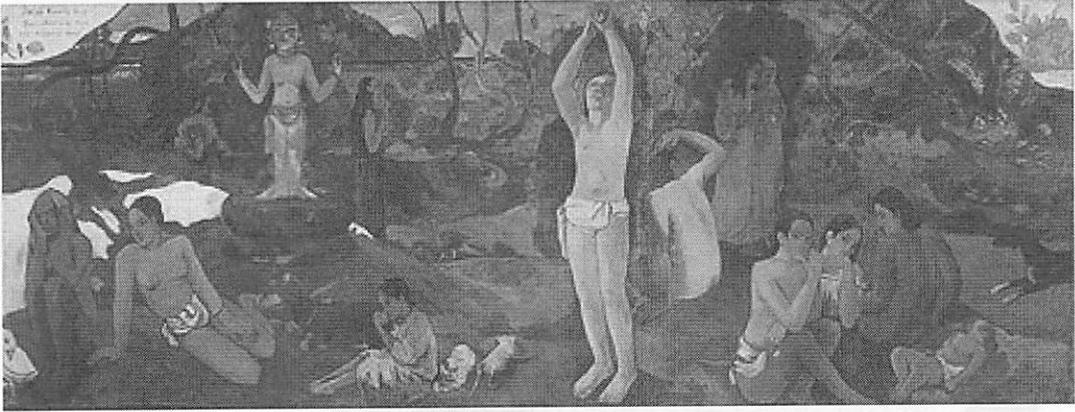
図 3-59 安全・安心・快適な都市の構築のための重要なポイント

これはいちばん初めにお見せしたとおりです。こうやって書くと当たり前のようなことなのです。ただ、一つ一つのブロックを実際にやってみようとする、そう簡単ではないということが見えてきます。だからこういうブロックをきちんと作って、それを一つ一つ埋めていくという努力がどうしても要ります。いちばん難しいのはここだと思います。基本的な理念の共有化。皆さんは、まちづくりという総論は賛成されるのですが、ビルの色を何にするかという千差万別です。汚い色のコンセンサスは大体取れるのですが、何がいかという好ましいほうになると、がらっと変わる。これは評価実験をしてよく分かりました。そのようなことが基礎データとして得られます。

最終的には適切なデータと知識を得て、いい街を作る。それを我々がこれからやっていかなければいけないという気がいたします。

以上で話を終わります。ありがとうございました。

都市とは何か？ どう変化し、どこへ行くのか？



ゴーギャン:

我々はどこから来たのか、我々は何者なのか、我々はどこへ行くのか

D'ou venons-nous ? Que sommes-nous ? Ou allons-nous ?

図 3-60 都市とは何か？ どう変化し、どこへ行くのか？

4. これからの都市防災:ハードとソフト, 国内と国際の視点から

目黒 公郎 (東京大学生産技術研究所 ICUS センター長・教授)

【略歴】

1991年3月 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了工学博士

日本学術振興会特別研究員

東京大学生産技術研究所 助手

東京大学生産技術研究所 助教授

2006年 東京大学生産技術研究所 教授

2007年 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・センター長

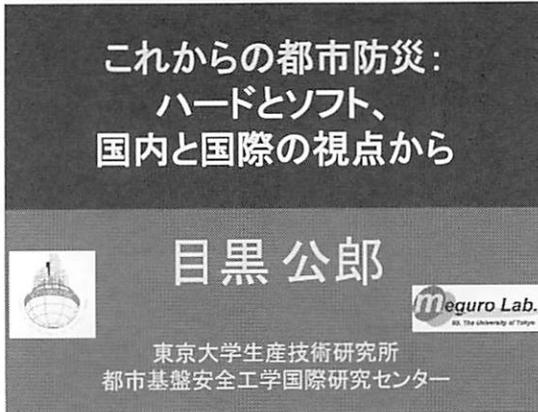
【専門分野】都市震災軽減工学

構造物の動的破壊シミュレーション, 非連続体の力学, 断層運動の影響度評価, 都市ライフラインの災害対策, 人間の避難行動, VRの防災への応用, リアルタイム地震防災/被害想定/評価, 既存不適格構造物の耐震補強推進政策, 防災戦略研究, 防災制度設計, 地震予知情報の工学的活用, 次世代型防災マニュアル, 災害時最適人材運用法, など.

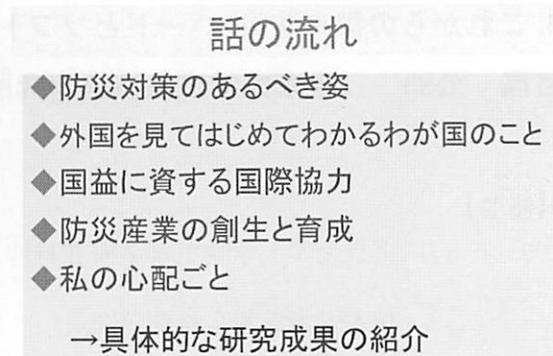


4.1 はじめに

皆さんこんにちは. この4月から魚本前センター長の後を引き継がせていただき, ICUSの取りまとめ役をしている目黒です. 設立から今日まで, 皆さんにご協力いただくことで, ICUSはこの研究分野では世界的にも有名なセンターの一つになることができましたが, 今後も魚本前センター長が築いてこられたものを汚すことのないよう頑張っていきたいと思っておりますので, 皆様, これまでと変わらぬご支援をよろしくお願いいたします.



スライド 1-1



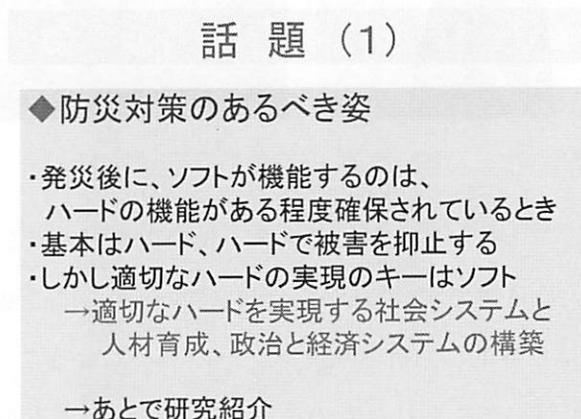
スライド 1-2

今回はこのスライド(スライド 1-1)に掲げているようなタイトルで、「これからの都市防災」について、私の考えを述べたいと思います。

まず全体としてどんな話をしたいと考えているかを紹介します。皆さんのお手元のファイルの中に資料が入っているかと思いますが、その中で最後についているものが全体の概要を書いたレジュメです。このレジュメの内容を少し詳しく書いているのが、同封の私が過去に発表した三つほどの論文です。

まずレジュメのほうを見ていただきたいのですが(スライド 1-2)、私は次のような五つの項目を挙げておきました。「防災対策のあるべき姿」、「外国を見て初めて分かる我が国のこと」、「国益に資する国際協力」、「防災産業の創生と育成」、それから「私の心配ごと」です。今日はこれらの話をした後に具体的な研究成果の話を少しさせていただきたいと思います。

4.2. 防災対策のあるべき姿



スライド 2-1

最初に「防災対策のあるべき姿」に関して少しお話をします(スライド 2-1)。我が国のような先進国、特に防災に関する先進国では、防災対策をハードウェア的対策とソフトウェア的対策に分けた場合に、最近では、後者のソフト志向の防災対策を採ることが多いようです。例えば地震を対象にすれば、「地震の発生後にどのように対応するのが重要だ」という認識です。「自衛隊と米軍とで対応すれば問題ない」的な発言されたかたもいらっしゃいましたが、実は先進国のわが国でも、このような認識は誤りです。特に地震災害に関しては注意が必要です。兵庫県南部地震によって神戸市内で地震後2週間までの間に亡くなった犠牲者を詳細に調査した兵庫県監察医のデータによれば、犠牲者の86.6%が自宅で亡くなっています。死因は窒息死や圧死など、建物被害を原因とするものが全体の83.3%です。残りの犠牲者の9割以上(15.4%/16.7%)は火事の現場で掘り出されていますが、その大半は被災建物の下敷きで逃げ出せなかったことが原因です。死亡推定時刻は、地震発生から6時までの地震直後の14分以内が92%を占めていました。地震後に指摘された総理大臣への被害情報の伝達の問題や、消防や自衛隊の出動体制の不備で亡くなっているのではないことが明確にわかっています。

4.2.1 代替の効かないものはハードで守る、ただしそのハード整備のキーはソフト

人の生命やある種の情報、文化財など、失われた場合に代替が効かないものはハードで守るしかありません。そういう意味では、ソフト的な対策は、ハードの機能があるレベル以上担保されて初めて機能するという理解が重要です。ですから、防災先進国と言えども、依然として防災対策の基本はハード、ハードの持つ抑止力で被害をまず極力減らすことが重要だということです。ハードで担保される抑止力があるレベル以上高くないと、どんなにいい事後対応システムを持っていようが、どんなにいい復旧・復興戦略を持っていようが、それに対応しなければいけない仕事の量と質が厳しいものになるし、発災直後に多くの構造物が壊れ、多くの犠牲者が生じてしまうので、どうしても後手後手になってしまうのです。これがまず一つ、重要な点として挙げられます。

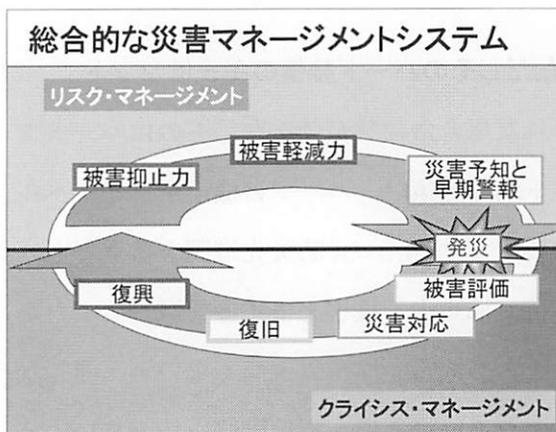
しかしここでもうひとつ重要なポイントがあります。それはその適切なハードを具体化する、実現するのは実はソフトであり、社会制度やシステムであるという点です。ここには反省があります。我々エンジニアリングの勉強をした者は、技術的な課題の解決が最優先だとか、これが解決するとあたかも最終的な問題が解決するとか、自分はエンジニアだから技術的なことだけをやっていけばいいのだと考えたり、それが直接問題解決につなが

らないことがわかっているのに、将来には何かの役に立つだろうと自分の中でエクスキューズして技術的な課題のみに取り組むことが多いが、この姿勢は間違いです。世の中に残っている防災の問題の多くは、それでは解決できないものです。

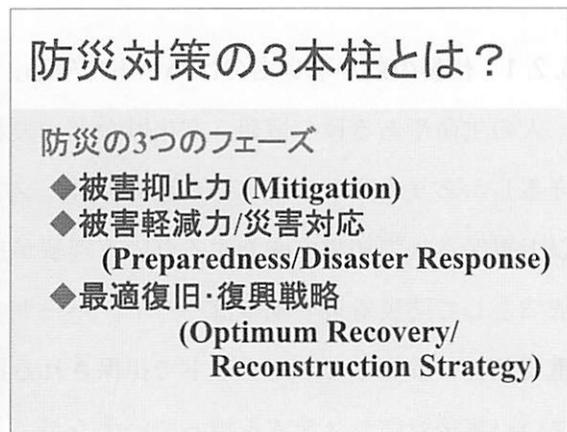
重要な課題に取り組む際は、その問題が何を最も本質的な原因として、これまで解決されなかったのかを冷静に分析した上で、その原因が経済の問題であれば、その経済的な課題に取り組む、政治的な力不足が原因であればそれを持つ努力をすべきだと私は考えます。もし自分だけでは力不足と思うのであれば、少なくともその研究に取り組む上で、その原因の解明や解決につながる分野の専門家を取り込むべきです。

私はこのような考えのもとで、適切なハードを実現する社会制度やシステムのあり方、人材育成、政治的・経済的な背景を踏まえた社会システムの提案や制度設計にかかわる研究に、最近では一生懸命に力を注いでいます。これらの研究成果については、後で紹介させていただきたいと思います。

4.2.2 防災を実現する具体的な対策とは？

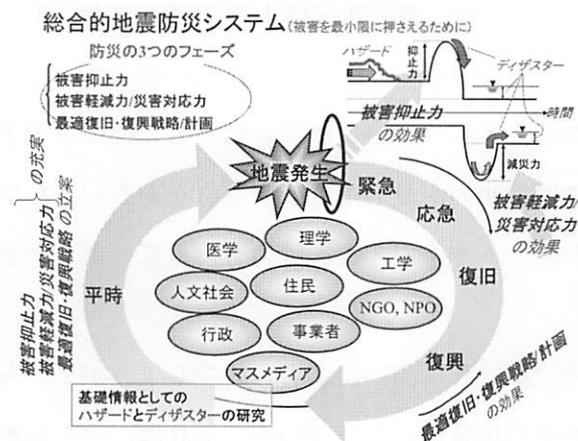


スライド 2-2



スライド 2-3

ところで、災害を減らそうとか、あるいは災害によるさまざまな負のインパクトを最小化しようとする場合に、我々はどんな対策法を持っているのでしょうか？このスライド(スライド2-2)が示すように、発災の前、平時から発災の直前、直後、事後、復旧・復興時まで7つほどの対策法を持っています。具体的には、被害抑止力の向上、被害を軽減するための事前準備、災害の予知と警報、直後の被害評価、災害対応、復旧、そして復興です(スライド2-3)。



スライド 2-4

これらの中でも特に重要な対策を取り出すと、このスライド(スライド 2-4)に示すように、Mitigationといわれるような被害抑止力を高めることで発生する被害を抑止する対策、Preparedness/disaster responseという適切に備え、うまく対応することで被害を軽減する対策、Recovery/Reconstructionという適切にしかも短い時間で復旧・復興を達成することで被害の影響の最小化をはかる対策になります。これら3つの対策を事前にバランスよく講じることが理想で、これを実現するには、図(スライド 2-4)にもあるように様々な人たちとの協力が不可欠です。

図中にハザードという言葉がありますが、ハザードとは被害を起こす原因になる台風や地震そのものを指します。物理現象、自然現象としての台風や地震がハザードで、これは外力と呼ばれることもあります。このハザードが我々の社会が有する被害抑止力を超えたときに、初めてハザードはダメージやディザスターになるわけです。ところが、日本人はこの辺の使い分けがはっきりしていません。例えば、マスコミを含め多くの方々が、関東大震災とか阪神・淡路大震災と言う場合に、これらが地震そのものを指していることも多いのですが、これは間違いだということです。

関東大震災は、1923年9月1日に発生したM7.9の大正関東地震という地震が引き起こした様々な障害の総称です。ハザードは大正関東地震、ディザスターが関東大震災ということ。阪神・淡路大震災も同様です。1995年1月17日に発生したM7.3の兵庫県南部地震がハザードで、それが引き起こした障害の総称が阪神・淡路大震災なのですが、我々は両者をごちゃごちゃに使っています。ハザードとディザスターの関係を理解していれば、「兵庫県南部地震から10年」という言い方はあっても、「阪神・淡路大震災から10年」という表現は正しくないことがわかります。震災はいろいろな障害の総称ですから、現象に

よっては、また被災者によっては、被災状況は1年、2年、3年、5年、10年と続いていますから、一概に震災から何年と表現するのは正しくないのです。

少し横道にそれましたが、本日、私が皆様にお伝えしたい最重要ポイントの一つが、被害を大幅に減らすためには抑止力が最も重要で、これをあるレベル以上確保しないと、どんなに優れた事後対応システムや復旧・復興戦力を持っていようが被害を減らすことは難しいということです。

それでは、被害抑止力は高ければ高いほどいいのでしょうか？ もちろん違います。お金もかかるし、そもそもその現象が起こらないのであれば、そのための対処法は必要ないわけです。具体的な事例で説明しましょう。例えば、皆さんがご自宅で子犬の家を作ろうというときに、「この子犬は娘の宝物だから、間違っても旅客機が墜落してぶつかっても壊れないものにしよう」とはならない。理由は、そのようなことが起こる確率が著しく低いこと、あるいはそれに対応するには日常の生活が成り立たないほどの経費がかかるからです。こういう場合に、我々はあきらめるのです。これは社会的コンセンサスです。

4.2.3 適切な被害抑止力を実現する二つの能力

では、本当の意味で適切な被害抑止力を実現するにはどのような能力が要るのかというと、一般的には二つの能力が必要だといわれています。一つは自分が作るものや、対象にする施設の重要性と供用期間を十分踏まえた上で、どれぐらいまでのハザードを考えておけばいいのか、そのハザードのレベルを見極める力が十分高いかどうか。二つ目は見極めたハザードに対して、適正な余力を上乗せした抑止力を実現する金と技術力があるかどうか、ということになります。ですから、例えば兵庫県南部地震の後に多くのインフラが壊れたり、ビルや住宅が壊れたりした状況を見て、一部のマスコミが「被害の主な理由はゼネコンが手抜き工事をしたからだ」などと指摘したこともありました。これは正しい指摘とはいええないということです。もちろん指摘のような問題がまったくなかったと言っているのではなく、主要な理由ではなかったという意味です。より重要な理由は、施設の設計や施工時に想定されていた外力を大きく上回る強い地震動が被災地域を襲ったということです。つまり上で説明した二つの能力のうちの前者の能力が不十分であったということ。不十分な外力に対しては、いかにいい設計をしようが、施工をしようが、よくメンテナンスをしていようが、壊れるものが出るのは当たり前です。壊れなかったものがあつたのは、地域による揺れの差と設計や施工上で定量的に考慮されていない余力に差があり、

それらが白黒を分けたということです。一方で、途上国の防災上の問題の多くは、危険はわかっているもお金や技術がないために対処できないことを原因としているもので、後者の能力不足であることがわかります。

4.2.4 わが国のインフラ整備と時代背景

次に我が国が抑止力を大幅に高めた時期はいつかという話をしたいと思います。被害抑止力はインフラの整備による部分も大きく、これが広く整備されたのは高度経済成長期の少し前から成長期でした。わが国でインフラが広く整備される背景には、当時、この業界の方向性をディビジョンできる人たちやエンジニアのトップの人たちによる次のような議論がありました。「高品質で高価格な施設を限られた狭い地域に整備するよりも、品質は劣るが低価格な施設を国土に広く展開したほうが国の発展のためには貢献度が高い」この議論にかかわった人たちは、当時、もっといい材料や工法があることも知っていたのですが、国の経済状況を踏まえて、品質は少し劣っても価格の安いものを選んで広く展開することを決めたわけです。そしてこの判断が我が国の高度経済成長期を実現した大きな理由になりました。上記の判断でインフラ整備をしている時期に、それほど厳しいハザードがわが国を襲わなかったことも幸いしました。

厳しいハザード襲わない条件では、つまり整備したインフラの抑止力以下のハザードのみを対象にしていれば、強いシステムも弱いシステムも同じ機能を示します。ところが、今はどうか。地震学的な活動度の高い時期を迎え、あるいは強い台風や集中豪雨が頻発する状況下で、ハザードのレベルが高まってきたときに、どういうことが起こり得るかをもっと真剣に考える必要があります。

災害に対しての脆弱性を議論する際に、地域危険度という言い方をすることがあります。インフラ整備が遅れている発展途上国に行くと、ここは地域危険度高そうだ、発災時にはひどいことになると感じる先進国の人々が多いのですが、この判断は大きな誤りを含んでいます。地域危険度とは、単純化して説明すれば、その地域に住む人々や富の量、その地域で営まれている社会活動や経済活動とその地域を襲うハザードとの相対的な上下関係を示しています。ゆえに、その地域の被害抑止力を超えるハザードが地域を襲った場合の悲惨さの程度とは無関係です。

わが国は、特に都市化地域は、整備したインフラの抑止力があるレベル以上高かったもので、これによって少々のハザードが我々の社会に攻撃をしかけても、これを何とかしのい

できたわけです。ここで「あるレベル以上高かった」の意味は、これまでもそして今後を考えても十分高かったという意味ではなくて、幸いにしてこれまで襲ってきたハザードよりも高かったという意味です。そしてある期間にわたってハザードがディザスターになる状況を避けることができると、そこには人口とか社会的機能とか、富や資産とか、そういった様々なものの集積が可能になります。一方抑止力が低く、短い期間で繰り返しディザスターが起こる状況では集積は不可能です。集積されていない状況では、一回のディザスターで失われる機能や富はそれほど大きくはなり得ません。しかし集積が進んだ状況で地域の抑止力を超えるハザードが襲った場合にはどうなるか。集積が進んでいけばいるほど、ハザードが抑止力を超えた場合の悲惨さの程度は高くなるのです。わが国の都市化地域はその典型です。

逆の例を挙げるとわかりやすいかもしれません。皆さんご存知のバングラデシュという国は、海拔1メートル未満の低平地が国土の何割も占め、そこに多数の人々が住んでいます。最近では抑止力が随分と高まって減少傾向にありますが、つい最近までこの国ではサイクロンや高潮で毎年のように大きな洪水災害が発生していました。そのたびに多数の死者が出たり、多くのものが流されたりし続けたわけです。こういう地域は非常にお気の毒なのですが、毎年のように洪水に襲われるので大きな集積ができませんから、一回の災害による影響はそれほど大きくなれないとも言えるわけです。

4.3 自国を良く知るために外国を見る

話 題 (2)

◆外国を見てはじめてわかるわが国のこと

- ・日本の特徴(特殊性と一般性)
- ・少子高齢化・人口減少社会を迎えての
「まちづくり」「いえづくり」
 - 「いい場所に、いいものをつくって、
良くメンテナンスして、長く使う」
 - 「新しいまち観、すまい観」の創生
- あとで研究紹介

スライド 3-1

次は話題の2で、外国を見て初めて日本の特徴が分かるという話です(スライド3-1)。言い換えると、日本ばかりを見ていたのでは、日本の特殊事情なのか、一般的な特徴なの

かも含めて理解度が進まないということ、そして結果的に適切な解決策の提案が難しくなることがよくあるという意味です。

またこれからの我が国の防災において、一つ絶対に外してはいけないキーワードは、少子高齢化・人口減少社会だと思います。国勢調査による2005年の総人口は1億2,777万人ですが、これが出生中位推計に基づけば、2055年には8,993万人にまで減少すると推計されています。これは2005年の総人口の約7割に相当します。また65歳以上の老年人口の割合は2005年の20.2%から2055年には40.5%になると予想され、著しい高齢化が懸念されています。人口減少が進むと、既存の住宅ストックが不要となり、空き家率や空地率が上昇すると考えられます。また、経済力が停滞し、災害後に社会を復興させる力も低下するでしょうから、いざ大規模災害が発生した場合の社会への影響は、より大きくなると想定されます。このような背景を考えて、どういうふうに「まちづくり」や「いえづくり」を進めていくかが課題です。

私自身は、今後は、洪水や地震、津波や土砂災害などの危険性の高い地域から安全な立地条件の地域へと長期的な人口誘導を図り、災害による社会的影響を回避することが重要だと考えています。その上で「いい場所に、いいものを作って、よくメンテナンスして、長く使う」という「新しいまち観、すまい観」を作っていく限り、インフラも住宅ストックも含めて、その品質を維持管理することは難しいと思っています。

例えば住宅に関していえば、我が国はこれまで26~27年で朽ちる家を作り続けるという施策を執りました。その結果、多くのかたが自分の家を持てたわけですが、一方で、日本人は世界的には最も高い収入を得ている国の一つであるにもかかわらず、豊かさ感を持ってない状況にあります。私はこの本質的な原因は住宅を取り巻く環境にあると考えています。

理由は何か？ごく簡単に説明すると次のようになります。首都圏で家を買おうと思うと、安くなったといっても7,000~8,000万円はする。これをキャッシュでポンと買える人はほとんどいない。皆、30~35年というローンを組む。そうするとローンが払い終える前に資産価値のなくなる住宅に、世帯収入の大きな割合を占める年間300~350万円のお金を毎年払い続け、その額はトータルでは1億円を超える。これでは、ちょっとくらい給料が高くてもあまり豊かさを感じないのは当然です。

一方、よその国はどうか。地震の少ないヨーロッパのフランスやイギリスでは1軒の建物を110~130年ぐらい使います。地震の多発地域である米国のカリフォルニア州でも住宅

の寿命は46～47年です。日本の約2倍です。ならば2世帯くらいが使うのかなと思うわけですが、実はそうではなく中古物件の売買頻度が日本よりも格段に高いので、日本では新築の家に移り住んでそのまま朽ちるまで住むのに対して、何十回も異なる世帯が住むことになります。こうなると、人間がヤドカリのようになって、自分の収入や社会的な立場に応じて住み分ける、移り住むようになるのです。そうすると、初期投資が多少高くても、みんなでシェアリングしますから、一人一人が払うお金は大幅に安くなる。しかも家具とかも住宅のほうにつく設備になるので、いろいろな意味での合理化が図れるのです。さらには、日常的によく維持管理しておくことが何回も得を生むので、維持管理に対するインセンティブも高くなるのです。アメリカの映画で、お父さんが日曜大工で家に一生懸命ペンキを塗っているのはこのような背景もあるからです。

わが国では、特に大都市圏では都市部への人口集中を前提にして、山を削るとか、くぼ地を埋めることで住宅地を増やしてきました。このような住宅地は地盤条件がよくないですから、結果的には地盤条件の悪い住宅地の割合を増やしてきたことになります。しかしこれからは少子・高齢化、人口減少社会で、今後30～50年で総人口が3,000万から4,000万人も減る。必要な住宅や住宅地が3割も減ることなので、これを前提にした災害に強い街づくりのあり方、戦略が問われるということです。これをある程度早い時期から示していくことが重要で、これをうまく実施しないと、外国人労働者問題も合わせて、都市のインナーシティの問題とか、スラム化などの問題が出てきてしまうという話です。

4.4 相手国にも自国にもプラスとなる国際協力のあり方

話 題 (3)

◆国益に資する国際協力

- ・国益ばかりを主張する国際協力は嫌われるが、
→相手国にも、わが国にも資する国際協力
- ・先端技術としての防災技術
→貿易摩擦を生まない、相手から受け入れられる、尊敬される技術
- ・邦人を守る国際防災対策、組積造対策、津波対策
- ・留学生教育

スライド 4-1

次は国益に資する国際協力の話です(スライド 4-1)。自国の国益を極度に優先する国際協力はもちろん嫌われるわけですが、相手国にも我が国にも、両方に対して資する国際協力があると私は考えています。

まず防災技術の考え方です。日本は技術先進国ですが、わが国が有する先端技術には貿易摩擦の対象になったり、相手から拒絶されたりするものも少なくありません。しかし過去の災害経験を踏まえてわが国が培った防災技術は先端技術であるにもかかわらず、これを相手国に輸出し活用してもらう際に貿易摩擦を引き起こすことはなく、ほとんどのケースで喜んで受け入れられ、しかも敬意を表してもらうことのできるものです。言い換えると、防災技術はわが国が誇るべき先端技術であるとともに、国益のためにももっと有効に活用すべき技術だということです。

では国益にも資するというのはどういう意味か。現在では、邦人が世界じゅうのいろいろな国や地域を観光客として訪れたり、そこでビジネスを展開したりしています。相手国に対しての防災対策は、その地域にいる邦人のビジネスと生活を守るという視点からも非常に重要なのです。これは自然災害だけではなく、テロなどを含めたいろいろなセキュリティの問題においても同様です。後でもし時間があつたらお話ししたいと思いますが、日本とかけ離れた国や地域の石やレンガ、ブロックなどを積み上げてつくる地震に対して脆弱な組積造の地震対策とか、津波対策などに関しても、自分たちには関係ないと思っている先進国の人たちがそこで被災してしまう状況がいくらかもあるということです。ですから、防災対策の推進は相手国のためでもあるが、同時に自分たちのためでもあるということをもっと真剣に考えるべきです。

4.4.1 留学生教育も同様

それから留学生教育の話ですが、私の研究室では途上国の非常に弱い建物の耐震補強法の提案とか、それを普及するための仕組みづくりの研究を、対象国の留学生たちと一生懸命進めています。私どもの大学に勉強に来る留学生は各国を代表する1つか2つの大学の上位10%以内の学生ですから、平均的には非常に優秀です。ごくごくたまに、政治的な理由などで優先されて来る人もないわけではないようですが、ほとんどの学生は非常に優秀です。優秀な学生は知的な興味が非常に高いので、来日時に「大学院でどんな研究をしたいか」と尋ねると、日本で勉強するのだから高層ビルの振動制御の研究とか長大橋の振動特性の研究をしたい、IT技術を駆使した災害情報システムの研究をしたい、などと答える

わけです。高速の電算機を使ってコンピュータシミュレーションをするなど、日本やアメリカの研究者と同じようなことをやってみたいと言うわけです。彼らがそのように答えるのは、知的興味以外の部分でも、ある程度致し方ない理由があります。ひとつは彼らが自国に帰ったときに、彼らが志向するような課題の研究をしていないと、ちゃんと研究したと思われたいのではないかと不安があるわけです。またこのような課題の研究をしていないと、帰国後に研究論文が書けなくなり研究者として大学内で生き残っていけないのではという不安もあるわけです。

彼らのこのような不安に対して私がどのように対処しているかという、彼らの知的興味に答えるとともに将来の不安感をなくしてあげる努力をします。まず地震防災において最も重要な対策が建物の耐震性の向上にあること、これが担保されない限り地震被害の軽減はなしえないこと、などを説明した上で、それを達成するために行う組積造建物の耐震補強工法の研究で扱う破壊現象が非常に複雑で非線形性の高い現象であり、その解明に世界のトップレベルの研究者が取り組んでいること、つまり君がこれを解明する実験や数値解析ができれば、これは学問的にすごいことだと説明します。これで知的興味を満足してあげるのです。その上で、脆弱な組積造建物の破壊実験は非常に難しく高度な実験技術が必要なこと、またコンピュータシミュレーションにおいても完全崩壊までの追跡が可能な最新の数値解析法の活用が必要で、この研究を通じてこれらの手法や知識を学ぶことができれば、帰国後にそれをほかの課題に適用すれば研究論文はいくらでもかけるので心配要らないことを説明し、帰国後の不安を取りさってあげます。

その上で国に帰ったときに、対象になる施設がまったくなかったり、一部の金持ちにし役立たないような研究をするか、困っている多くの人たちを助けるような研究をするかと尋ねれば、彼らだって多くの人たちを助けたいと思っていますから、後者を選ぶわけです。それを確認した上で、「じゃ、一緒に頑張ろう」ということになります。こうやって納得し、モチベーションを高くした上で研究を進めるので彼らも努力します。そして修士論文でも博士論文でも書き上げることができると、修了時には彼らは研究成果を持っているということです。つまり自国に帰ると困っている人を助けることのできる技術や知見を手に入れているという意味です。こうなれば、彼らはその技術や知見を持って帰国し、それを使って早くみんなの役に立ちたいと考えるのは当然の成り行きです。これで頭脳流出も阻止できるのです。

ところが、日本や欧米先進国と同様な課題とスタイルでの研究で学位論文を書かせると、

帰国してもその成果を反映できる対象が自国にはないわけです。帰国する動機が低くなり、結果として頭脳流出が生まれます。留学生は、日本に来るまで自国で様々なサポートを受けて勉強して、さらに日本国をはじめとする支援機関の経済的・環境的サポートを受けて訪日して勉強しているわけです。その人たちがそれまで受けた支援に感謝し、自分の国に貢献しないで、自分勝手に自分のキャリアアップのためだけに、次はアメリカだ、ヨーロッパだと言っている状況は、私には健全だとは思えません。国費で勉強している彼らに、同じく国費をもらって研究指導している私たちとしては、上で説明したような点には注意を払うべきだし、彼らが健全に貢献できる環境を作るべきだとも思います。

また日本が経済的支援をして勉強している留学生なのに、実はわが国で勉強している学生の比率が非常に低く、多くが欧米など日本以外の国々で勉強している状況もおかしいと感じます。わが国の大学では、少なくともトップクラスの大学では、学術的には世界の最先端の教育を行い、その内容が留学生にとっても非常に有効なものであるのに、それが日本語のみで実施されているので、留学生には理解できません。私が所属する工学系社会基盤専攻では、留学生が日本語を全く話せなくても問題のない環境を用意しています。講義は全て英語で行われますし、論文執筆も英語です。留学生本人と家族を対象としたレベル別の日本語教育プログラムを毎日無料で行っています。留学生を支援する特別の事務室 (Foreign Student Office) を開設し、研究や教育のみならず日常生活上の問題の相談にも乗っています。留学生の一人一人に日本人大学院生のフェローをつけて、事務手続きや大学生活を送るうえでの問題解決に努力しています。これらの活動には当然費用がかかるわけですが、その費用は教員が研究コンサルティングを受けたお金などから分担しています。留学生のほとんどは文部科学省をはじめとする奨学金を受けて、経済的な心配をせずに勉強や研究に専念できる環境も整えています。このような体制での留学生教育プログラムを1980年代初頭から行っており、アジアを中心とした世界各地の優秀な学生が日本にシンパシーを感じながら勉強し、また日本の基準や手法などを学んだ卒業生たちが世界各国で活躍しています。しかしこのような事例はわが国では非常にまれで、多くの留学生は日本から経済的な支援を受けながら、欧米など日本以外の国々で勉強しているのです。そうすると、日本が経済的な支援をしているにもかかわらず、感謝の念は留学先の国々ということになります。せっかく日本にシンパシーを感じてもらおう機会を失しているという意味です。これも長期的な国益を失っていることです。

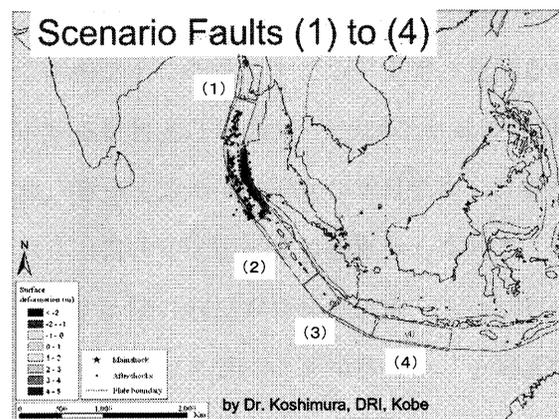
4.4.2 シンプルで安く、日常的な活用性を主とした津波被害軽減システム

国際的な防災の話に関連して、津波対策の話をし少しさせていただきます。この話はある部分では我が国の悪口にも聞こえるかもしれませんが、大切な視点なのでぜひご紹介したいと思います。スマトラ沖地震津波災害があった際の話です。この災害を踏まえて、日本やアメリカなどの防災先進大国が、インド洋沿岸諸国の津波防災システムとして、太平洋沿岸を対象にこれまでに莫大なお金と時間をかけて作ったシステムと同様のシステムを展開しようと提案しました。私の指摘は、これがどれくらい効果的なのか、地域特性を踏まえた他のシステムの可能性はないかという話です。

太平洋に設置されている津波防災システムと同様なシステムをインド洋沿岸諸国に展開する。世界の経済大国が初期設備の経費を支援してくれるのであれば、初期投資の点からの問題はかなり軽くなるでしょう。しかし設置後、それをだれがどうやって運用し、維持管理するのでしょうか。資金はあるのか、技術や経験はあるのか、人材は十分いるのか、いずれも圧倒的に不足しているのが現状です。しかもこういった機械系のシステムの寿命はどれくらいでしょうか。せいぜい10年程度でしょう。一方、大規模な津波の再現周期はどれくらいでしょうか。短くても数10年に一度、100年から200年に一度、数百年に一度という頻度では、これが本当に防災に活動される可能性はどの程度あるのでしょうか。

そこで私たちはまったく違ったコンセプトの津波災害軽減システムを提案しています。まず、対象地域で潜在的に大規模な津波を引き起こす可能性のある大地震を引き起こし、その結果発生する津波の数値シミュレーションを行います。

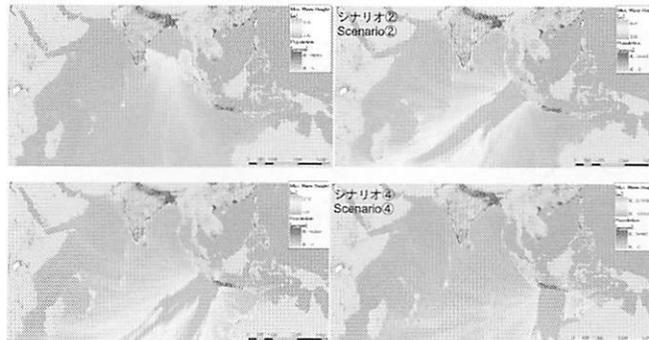
スンダ海溝沿いのシナリオ断層(1)~(4)



スライド 4-2

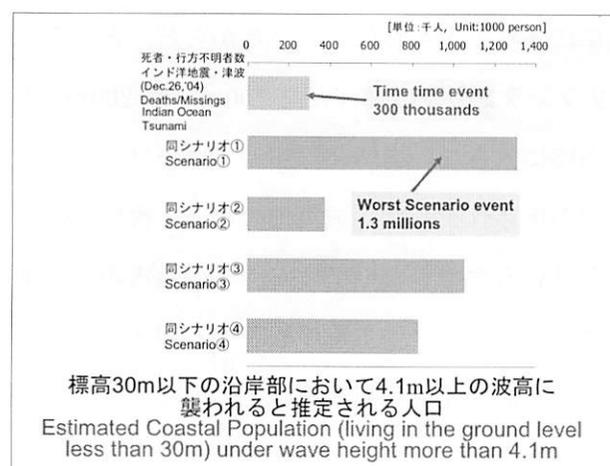
予想津波最大波高(シナリオ1~4)

Estimated Maximum Wave Height
by the Scenario Eq. (1 - 4)



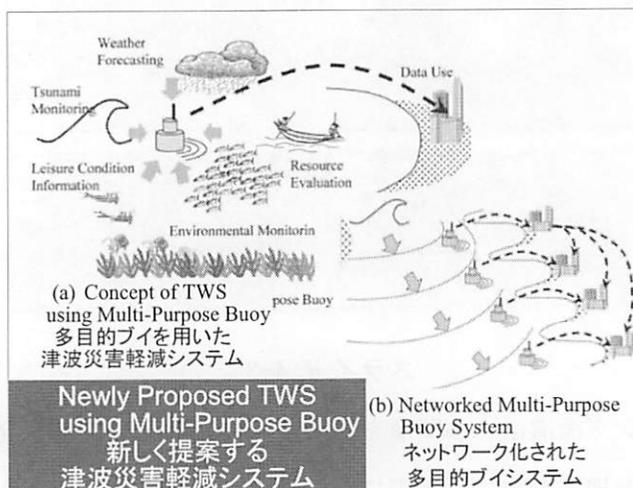
スライド 4-3

スライド 4-2 はスンダ海溝沿いの断層を対象に、M9 クラスの地震を発生しうる巨大断層を取り出し、これらが地震を発生した際にどの程度の津波を引き起こすのかをシミュレーションしたものです(スライド 4-3)。東北大学の越村准教授による解析結果です。越村さんはスンダ海溝沿いに、今回の地震以外に 4 か所の M9 クラスの地震断層を想定し、これらが地震を起こした場合の津波災害の規模を試算しています。その結果によると、30 万人規模の死者を出した今回の津波災害は最悪の災害（ワーストシナリオ）ではなく、2004 年の地震で滑った断層よりも北部が地震を起こした①の場合には、インドやバングラデシュに津波が押し寄せることで、なんと 130 万人ぐらいの方が亡くなってしまいう可能性が高いことがわかりました。それ以外にも、100 万人規模の犠牲者が想定される断層もあるなど、この地域が将来の津波防災のために何らかの津波防災システムを持つことの重要性は説明するまでもない状況です(スライド 4-4)。



スライド 4-4

このような潜在的な問題を指摘した上で、非常に安く簡単なシステムで、日常的に利用可能で簡単にメンテナンスできて、しかも津波が来たときには被害を大幅に軽減できるという仕組みを提案しているわけです。



スライド 4-5

私たちが提案しているシステムは、ごく簡単な多目的ブイ(スライド 4-5)と避難所を組み合わせた津波防災システムです。多目的ブイを湾の入り口に浮かべておいて、平時には水温や気温、流速や環境情報などをニーズに応じて毎日モニタリングするのです。そうすることで、地域の天気予報の精度が上がるとか、環境モニタリングができるとか、スキューバダイバーたちに安全情報が出せるなどのメリットが生まれます。これを誰が運用し、維持・管理するかというと、私はいちばん便益を受けるリゾートホテルの人たちを想定しています。

スマトラ地震津波のあと、なぜあれだけ多くのかたが亡くなったのかが議論になりました。結果としては、沿岸に多くの人々が住んでいたからだ、ということになり、土地利用計画として、タイやスリランランカでは海岸から 100mとか 200m、インドネシアのアチェなどでは 2.5 km 以上内陸に入らない場所には住んではいけないとか、恒久施設を建設してはいけないなどの規制が出されました。被災地の復旧・復興には被災地の基幹産業の復旧・復興が不可欠なことはいうまでもないですが、この災害の被災地の基幹産業は、小型ボートを使った沿岸漁業とマリンリゾートを中心とする観光業です。これらの基幹産業を成り立たせなくするような上記の土地利用政策は正しいのでしょうか。確かに 100年に一度の問題は解決するかもしれないが、日常生活の問題を発生させたのでは意味がないということですが。

私たちの提案は、先ほども紹介したように日常の利用法が基本機能であって、この機能によって利用者が平時に毎日毎日得をする。この日常の利用があるので、故障が発生した際にも直ちにそれを発見できるし、平時から維持管理するインセンティブも生まれる。これが100年に一度の利用では、維持管理するインセンティブも故障の発見も難しい。日常利用の延長上に津波が発生した際には、補足的な機能としてこれを観測し津波災害を減らすシステムとして利用できるというものです。

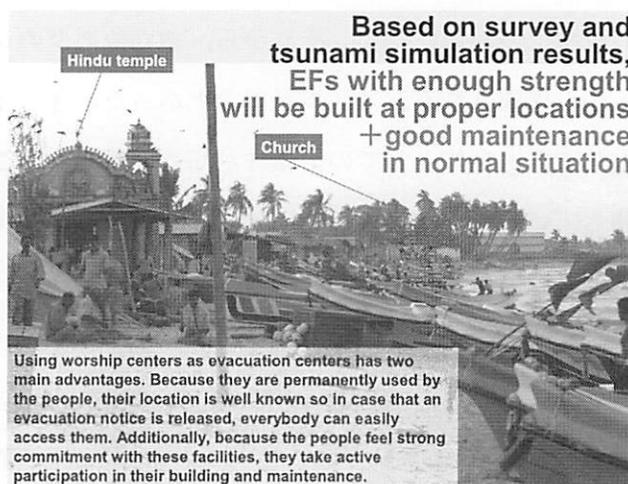
上で説明したような簡単な多目的ブイを各ビーチのリゾートホテルが運用していると、彼らは国内、国外にホテル協会のネットワークを持っているので、津波を観測した際にはこの情報をそのネットワークを活用して他のメンバーたちに伝えればよい。従来のブイを使ったシステムは一台で津波のリーディングタイムを確保しなくてはいけないので、海岸から遠く離れた沖合いに大規模なシステムを設置する必要があり、価格も高くなるし維持管理も難しかったのです。しかし私たちの提案するシステムは、ネットワーク全体でリーディングタイムを確保する独立分散型のシステムなので、一台で時間を稼ぐ必要はありませんので、海岸近くの設置でいいわけです。それから、独立分散型のシステムの特徴として、何百台というブイから構成されるシステムができ上がったときに100台、200台のブイが津波で故障したとしても、全体としての信頼性が高く維持されることも有利です。

わが国が実際に展開しているものは1台数億円ですが、私たちが提案するブイシステムは設置や運用費も込みで1台当たり1,000~2,000万円程度になりそうです。この金額はシステムの寿命を3年から5年程度、一つのビーチに存在する部屋数が200~500程度（実際はもっと多くあり、プーケットではパンガビーチだけで約2万部屋も存在している）、それらが年間平均100~150日ぐらい利用されていることを仮定すると、一部屋の宿泊代に一泊当たり1ドル前後の追加で成立することを意味しています。つまり宿泊代の1%にも満たない積み立てで問題なく成り立つということです。それでビーチのブランド名を高められるのだったら安いものでしょう。実際私たちが行ったインタビュー調査結果からは、ホテル関係者の皆さんは「これはいい。これだったら部屋数に応じて、津波税のようなものを作って対応してもいい」などの意見も出ました。さらに周辺住民にも情報提供することを前提にすれば、行政からの支援を受けることも可能でしょう。

次は避難センターです。これに関しては、過去にバングラデシュの高潮災害に対する高床式避難シェルターがある程度の成功を収めています。その際には次のような問題がありました。小学校やコミュニティセンターのような建物を避難シェルターに当てたのです。

が、温暖で湿度が高く塩分濃度の高い環境下ではもともと施工品質の低い構造物は維持管理の上の問題から劣化が急激に進み、長期間にわたって施設を利用することが難しいのです。そこでこの問題は次のような方法で解決を試みています。

3, 4 階以上の鉄筋コンクリートのホテルなどであれば、上階に避難すればなんら問題がないでしょう。ではこのような建物がない場所ではどうするか。津波災害の被災地をずっと歩くと、どこの被災地でもその街や集落の大きさに応じて、教会やモスク、寺社などの宗教施設が存在しています(スライド 4-6)。津波シミュレーション結果に基づいて場所を決め、そこに盛土をしてその表面を石で覆うなどした上に宗教施設を移動して建設し、これを避難センターに利用することを提案しています。こうすることで2つの大きな問題が解決できます。ひとつは日常的に市民がお祈りに来るので、場所の認知の問題がなくなるということ、もう一点は神様が住んでいるので施設の維持管理が徹底されるということです。



スライド 4-6

多目的ブイと宗教施設を利用した避難所の設置で、従来の清潔を変化させることなく、つまり基幹産業に影響を与えることなく、日常的に便益を受け、しかも津波発生時には被害を大幅に軽減できるシステムを非常に安価に実現できるということです。

4.5 防災ビジネスの創造と育成の大切さ

話題（4）

- ◆ 防災産業の創生と育成
 - ・良心に訴えるだけの防災では、持続力なし
 - ・適切に儲かる防災産業
(技術、商品、システム)の創生支援と育成
- ◆ 私の心配ごと
 - ・将来の世界史の教科書に
「第2のバベルの塔」として載らないように
 - ・今後30年で300兆円ともいわれる地震被害
の軽減と、スムーズな復旧・復興に対して
一建設業界の将来、技術力の向上と維持、
質のいい労働力の確保

スライド 5-1

次は防災対策を進めるには、防災産業を創生し育成していかなければだめだという話です(スライド 5-1)。良心に訴えかける防災には限界があって、これでは持続力を持つことは不可能です。簡単に言うと、防災にかかわっている人たちに、防災で金もうけすることはちょっと後ろめたいなどと思われたのでは失敗だということです。防災でビジネスが成立するという事はすばらしいことです。なぜか？ 本来、国が主導すべきことを民間の人たちが頑張ってくれてくれるということです。だったら、国も積極的に支援していくようにならないとだめです。防災産業を適切にもうかる産業として創造し、支援し、育てていくことが防災対策をサステナブルな条件の下で推進するために不可欠なのです。この考えは私が委員として参加した中央防災会議の「防災のあるべき姿を考える専門調査委員会」の報告書にも書き入れてもらいました。

4.5.1 「第2のバベルの塔」にならないように

私は次のような点に関しても心配しています。将来の世界史の教科書に「昔、極東に東京という世界最大の都市があった。ところがある日、経済と技術力におごった態度が神の怒りに触れ、大地震で一夜にして消滅した。これを『世界史における第2のバベルの塔』という」などと決して載らないようにしたい。有史以来の世界史の中で、東京（南関東一円を含む東京圏）ほど多種多様な災害が頻発する地域に、これほどの人口と機能を集約させた巨大都市の前例はないのです。私たちは、現在私たちの住んでいる地域の状況をもっと真摯に考えるべきです。

心配事ばかりで申し訳ありませんが、もう一つ国内事情と国際協力の両者に関係するこ

とで心配していることがあります。地震学的に活動度の高い時期に入ったわが国では、今後 30～50 年という時間スケールの中で、M8 クラスの地震が 4～5 回、M7 クラスの地震はその 10 倍の規模、すなわち 40～50 回起こると言われています。これらの地震による被害額がいろいろな機関によって見積もられています。例えば中央防災会議は南海トラフ沿いの地震と首都圏直下で最悪 200 兆円規模の被害総額を見積もっています。しかしこの見積もりの中には、沿岸部のコンビナートの被害や長周期地震動による超高層ビルの障害は入っていません。交通施設や機関の害や事故などの影響はかなり低く見積もられているように感じます。さらに危険性の高い関西の内陸での地震や宮城県沖地震などの被害も含まれていません。私自身はこれらの障害をすべて含めると、中央防災会議の見積額である 200 兆円では収まらず、300 兆円規模になるという試算をしています。仮に 30 年で 300 兆円だとすると、年間 10 兆円という規模です。10 兆円の被害は兵庫県南部地震の被害規模です。

このような巨大災害の発生時にどのようにしてスムーズな復旧・復興を実現するか。国はいろいろな委員会を設置し検討しています。私も幾つか委員をやっていますが、これらの会議では重要な視点が欠けているといつも感じて意見を言っています。その意見とは次のようなものです。

スムーズな復旧・復興を達成するには直後の被災建物や施設のガレキ処理から始まって、新しい施設の設計と施工と土木建築にかかわる大量な建設工事が発生します。しかしこれを実施する技術者がわが国にはいないのです。建設需要の縮小を背景に、建設業界の技術者の数は大幅に減ってきています。特に実際に大規模工場の設計や施工、ビックプロジェクトにかかわった団塊世代の経験豊富な技術者も腕のいい重機のオペレーターも皆引退し、人数だけの問題だけでなく、スキルや経験の不足はどうしようもない状況です。戦略的に技術力の伝承や遺伝をはかっていくとともに、マスとしての労働力を確保できる仕組みを作っていないと、スムーズな復旧・復興の実現など不可能です。

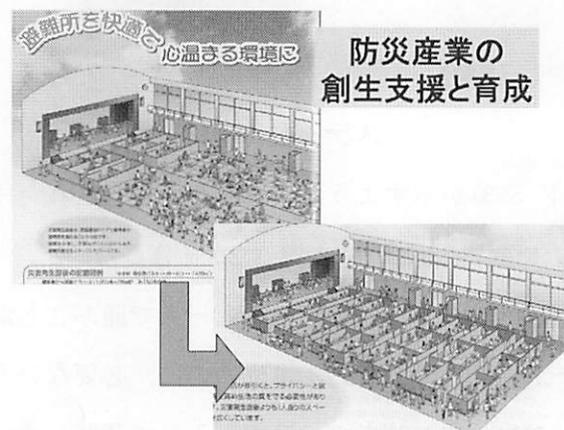
4.5.2 「21 世紀版、いざ鎌倉」システムの構築

このような課題をどうやって解決していくのか？これは非常に重要な問題ですが、これに気づいている人は少数で、しかも具体的な戦略を提案している人もほとんどいません。私はこの問題には次のような戦略、「21 世紀版、いざ鎌倉システム」を提案しています。

ODA を含め、海外の大規模建設現場で日本の優秀な若い技術者の技術力の向上と維持をはかる。さらにその現場で働く相手国や周辺国の技術者や労働者の技術力の向上を図ると

ともにわが国に対してシンパシーを持ってもらえる環境を10年20年の時間スケールの中で作る。そしてわが国が大規模な地震に襲われた際には駆けつけて、復旧と復興に貢献してもらおう。これを「21世紀版、いざ鎌倉システム」と私は呼んでいるわけですが、このような類の何らかのシステムを考えないと、今後は需要の少ない中で自国の技術者だけでスムーズな復旧・復興を達成するのは不可能であると感じています。

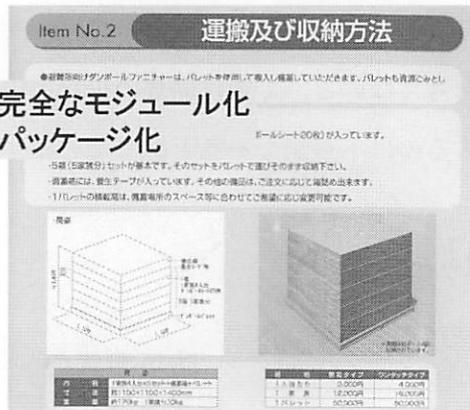
4.5.3 避難所生活者支援パッケージ



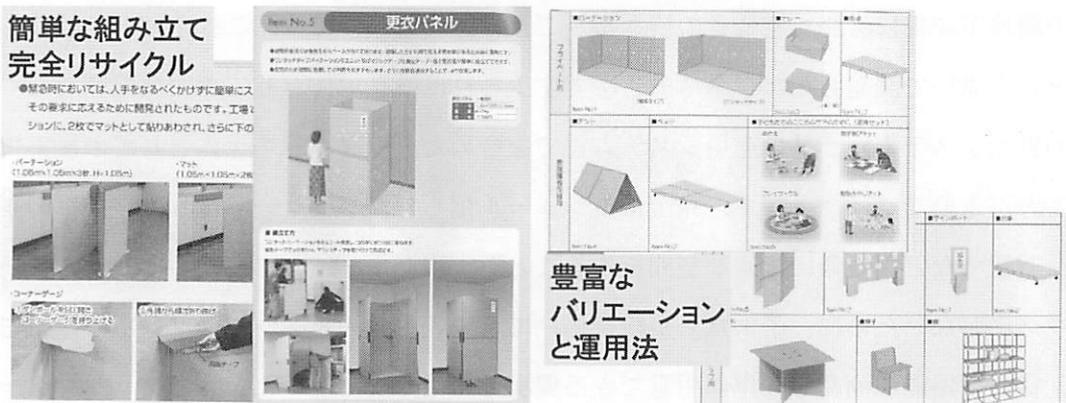
スライド 5-2

防災産業の創生に関して、私が絡んでいる一つのビジネスモデルを紹介します(スライド5-2～5-5)。発災後、被災地では多くの方々が避難所となる体育館などで過ごされますが、この環境が非常に劣悪で避難者の皆さんがご苦労されるわけです。これを何とか改善したいという思いで開発したビジネスモデルです。これは商品単体としての開発だけでなく商品の供給システム、商品の運用システムまでを含めたトータルシステムとしての提案であることが重要なポイントです。完全にモジュール化して、パッケージ化したダンボール紙で、避難所などを対象に快適な空間を作ることを実現します。しかもいわゆるダンボールハウスにしないために、子供たちが絵を描いてもいい青畳のイメージのダンボール紙を用い、様々な機能の商品を簡単に用意できる環境を整備しました。たとえばプライバシーを確保したり、隙間風や床からの冷えを防ぐ間仕切りから始めて、更衣室や掲示板、ロジスティクス用の机や椅子、整理棚や荷物を移動するときに便利な台車、食器や子供の遊具などを全てモジュール化して提供します。またスライド5-2示すように、最終的には最も多く必要となる間仕切りも、災害直後には病人や老人など一部の人には必要であるが、多くの被災者にとっては情報の共有やお互いの助け合いのために皆が一緒にいることが重要

であることから、最終的に必要な量の3割程度で済むことを前提に管理・供給するシステムを設計しています。



このスライド(スライド 5-3)が示すように、パッケージ化された段ボールの1単位は1辺1メートルほどの立方体ですが、この中の厚さ20cm分ぐらいが、一家族がプライバシーを確保できる間仕切りセットになっています。大人一人で運ぶことができ、簡単に組み立てられます。この1メートルほどの厚さの1単位の中に、必要ないろいろな組み合わせをセットにして、パッケージ化し、これをコンテナに入れて運搬します。発災の直後は空間をすべて間仕切る必要もないし、避難所相互で融通し合えばいいのです。あとは日本最大のダンボールメーカーがバックアップし、1週間以内には不足分を運ぶというようなシステムも考えています。



スライド 5-5

これが優れているのは、豊富なバリエーションのものがモジュール化され(スライド 5-4)、簡単に組み立てられる仕組みになっている点です。例えば子供用の遊び道具も用意しています。絵の具やクレヨンで壁に絵を描いたり、子供たちが一緒に遊べる道具なども一緒に入れておくことによって、避難所での子供の心への負荷を減らす工夫もしています。

価格も安価で、机と椅子4脚がセットで2万円ぐらいです。1辺約1mの立方体のパッケージの一つについている台(ダンボールのパレット)に付属のタイヤを取り付けることで、避難所内での荷物運びに便利な台車(スライド5-5)になります。これらの商品は全て、避難所が閉鎖される際には、98%資源としてリサイクル可能です。

4.6 これまで行ってきた被害調査や防災に関わる国際活動を通じて



スライド 6-1

ところで、私はこれまでいろいろな国際活動をしてきました(スライド6-1)。いろいろな国々に行ってその国の偉い人たち、大臣とか場合によっては大統領とかに会って、いろいろと講義をしたり、建物の耐震基準の作り方や大学での地震工学のカリキュラムについて説明したり、子供向けの教材の話をしたり、学術組織の立ち上げを支援するなどの草の

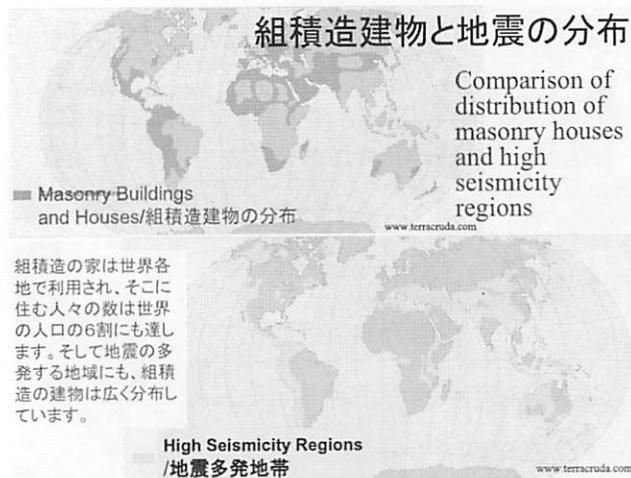
...causing great damage ...



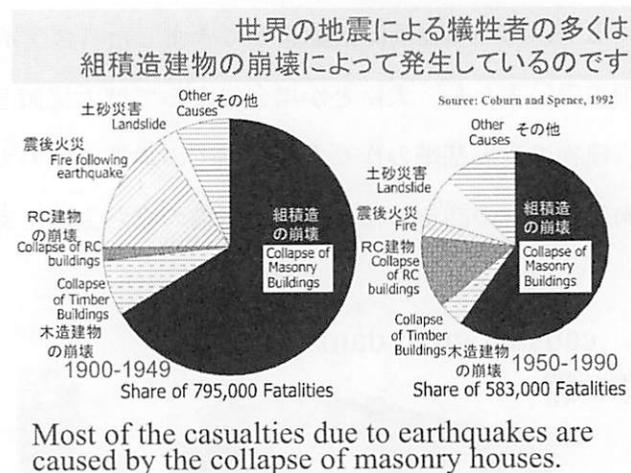
スライド 6-2

根の地震防災活動をしてきました。これらの活動と多数の地震被害調査を通して痛感するのは、地震防災における弱い建物の問題です。特に石やレンガ、ブロックなどを積み上げた組積造の耐震性向上の問題です（スライド6-2）。この間が解決されない限り、世界的な視野での地震被害の軽減は達成されません。

4.6.1 世界で最も弱い組積造建物の問題



スライド 6-3



スライド 6-4

コンクリートフレームに組積壁を積み上げたようなものまで含めて、現在組積造の建物に住んでいる人口は世界の総人口の6割にも及び、しかもこの建物の分布が、地震が頻発する地域と重なるので、地震のたびに多くの犠牲者が出続けているのです（スライド6-3, 6-4）。

地震防災対策の推進 既存不適格建物の補強

研究者や専門家(特に先進国の)は、対象地域の状況(技術、生活様式など)を考えずに、先端技術を使いたがる

キーワード

- ◆ 現地での対応可能性 / 適用性
- ◆ 現地での許容性

スライド 6-5

対象地域での対応可能性と許容性 (ローカル・アベイラビリティ/アクセプタビリティ)

- ◆ 技術的側面 (高性能でも、高価ではだめ)
 - ・材料の入手可能性
 - ・工法の許容性
- ◆ 社会的側面
 - ・文化的許容性
 - ・経済的許容性
 - ・耐震改修を支援する制度

スライド 6-6

このような建物の耐震補強をどうして進めたらいいのか？ このような議論する際に、専門家や研究者、特に日本をはじめとする先進国の専門家や研究者は、「最新の技術で効率的に進めればいい」とか、「日本の材料と工法で対応すれば全く問題ない」などと、対象地域の特徴や状況を考えないで、何一つ問題解決にならないことを、胸を張って言ったりするわけです。

我々が重要視しなければいけないのは英語でいうと、ローカル・アベイラビリティとか、ローカル・アプリアビリティとか、ローカル・アクセプタビリティという考え方です(スライド6-5)。対象となる相手国や地域の特徴を十分理解した上で、提案手法がちゃんと使ってもらえるものなのかどうか、対象地域でも問題なく対応できる技術かどうか、必要な材料は対象地域でも簡単に入手できるのか、対象地域の習慣や生活スタイル、宗教や歴史、文化や伝統、そして経済状況などを考えたときに、提案手法が許容してもらえるものなのかどうかなどの視点がないとだめなのです。そして先に説明したような条件を満足した上で、対象地域が許容する耐震補強を促進する社会システムをつくらないと補強は進展しません(スライド6-6)。

既に説明したように、技術の問題は重要ですが、それだけでは問題解決は望めない。その意味では、政治家などのポリシーメーカーをうまく使うこと、言い換えると彼らの支援をうまく得ることが重要です。そのために彼らに情報を提供するときは、複雑な式や数値などを使ってはいけません。わかりやすく簡単な図や絵を使って、彼らが自分のポリシーメーカーに活用できるものを提供することが重要です。

4.6.2 日本では毎年10回以上も起こる規模の地震でさえ・・・



スライド 6-7

例えばこの写真（スライド 6-7）はインドネシアのジャワで起こった地震ですが、マグニチュードは6.3です。日本だったら毎年10～20回も起こる地震です。これで5,800人の死者が出てしまったのですが、同じ地震による死者は日本だったらゼロでしょう。びっくりされたお年寄りが心臓麻痺で間違ってお亡くなりになるような事例は、何十回かに1回ぐらい起こるかも知れませんが、せいぜいその程度のものです。この地震被害の後に、「多数の死者が出た原因をレスキューオペレーションが悪かったためである」などの話もでしたが、これは全くの間違いで、基本的に建物が弱いのです。

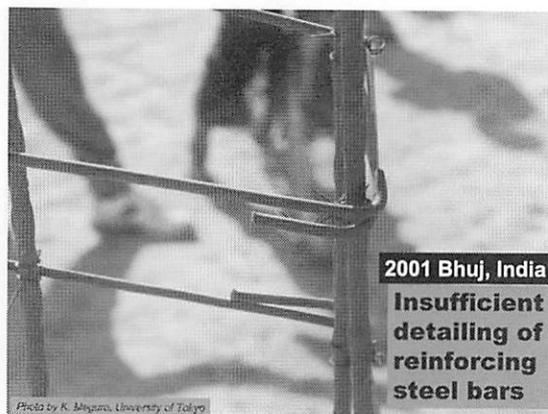
4.6.3 他人事でない訳



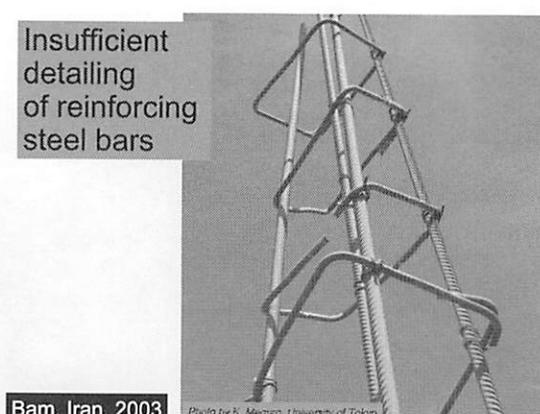
スライド 6-8



スライド 6-9



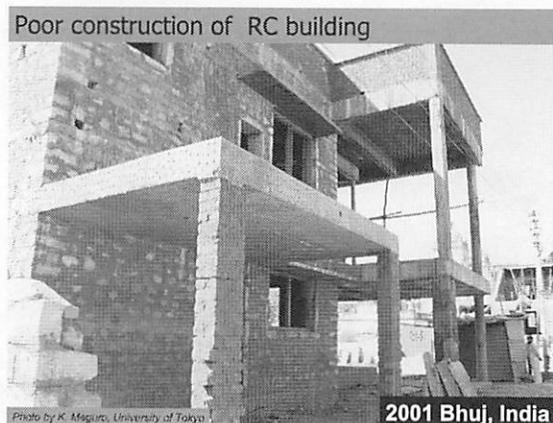
スライド 6-10



Bam, Iran, 2003

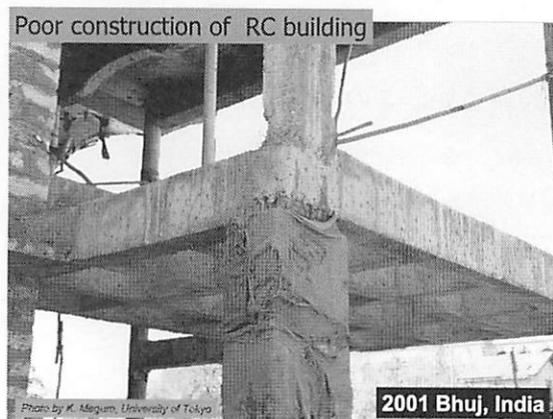
スライド 6-11

今見ていただいているような写真（スライド 6-8～6-11）を示せば、会場の皆さんのように先進国の多くの方々には、このようなものに我々は住まないよとおっしゃると思います。非常に細い配筋で、しかも適切に配筋されていない。連結されていないものさえ良く見かけます。これはひど過ぎるし、第一こんなのは見たらすぐに分かるよとおっしゃる。でも本当でしょうか？ 今から、他人ごととして済ませられない状況をお話します。今から順番に何枚かのスライドを見ていただきます。



2001 Bhuj, India

スライド 6-12



2001 Bhuj, India

スライド 6-13



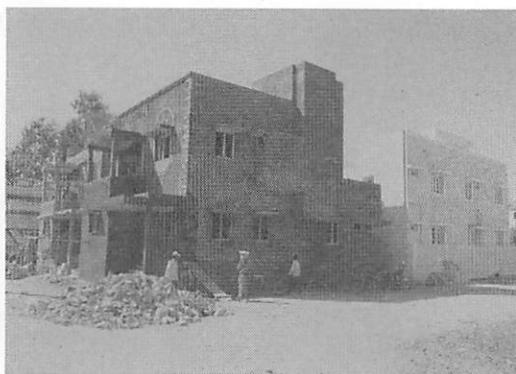
スライド 6-14

スライド 6-12, 6-13 を見てください。「これはひどい。この柱はただレンガを積んだだけではないか」、「床と柱のつなぎ目を見ればびっくりするほど施工が雑だ」とお感じになったでしょう。さらに、梁と壁の間に生じた大きな隙間に、レンガ屑などを詰め込んだりしている様子を見ると、「これはあり得ない」と思われるでしょう(スライド 6-14)。でも、ちょっと待ってください。



スライド 6-15

スライド 6-15 を見てください。この写真は先ほどの建物の建設がもう少し進んだ状態です。



スライド 6-16



スライド 6-17

さらに建設が進むとスライド6-16のようになり、そして最後にはスライド6-17のようになります。どうですか？ でき上がった段階で見ると、随分立派な鉄筋コンクリート造の建物に見えるでしょう。これだったら、「けっこういいから、住んでしまおうかな」と思ってしまいますよね。ホテルなども同じですよ。外見と実際の中身は全く違うわけですから、他人ごとだと思ってはいけません。こういう状況をきちんと分かっていたいただきたいのです。

スマトラ地震津波の際に、大勢のヨーロッパの人たちが被災しましたが、あれも同じです。自国では問題ないと思っけていても、旅先で、リゾート地で被災することはいくらかもあるので他人ごとではないわけです。だから国際協力としての防災対策は、相手国や地域のためになるし、尊敬もされるし、しかも自国の人たちを守る対策の一つとして、自分たちにとってもとても重要だという視点が必要だと思います。

4.6.4 100ドル耐震補強法

We are proposing using PP-bands to retrofit masonry...
PPバンドを用いた補強法の提案

Why should PP-band be used?

- ◆ Cheap
- ◆ Worldwide available
- ◆ Tolerates large deformations
- ◆ Durable
- ◆ Easy to handle and transport

なぜPPバンドなのか？

- ◆ 安い
- ◆ 世界中で入手可能
- ◆ 強く変形能が高い
- ◆ 耐久性が優れている
- ◆ 加工や運搬が容易

スライド 6-18

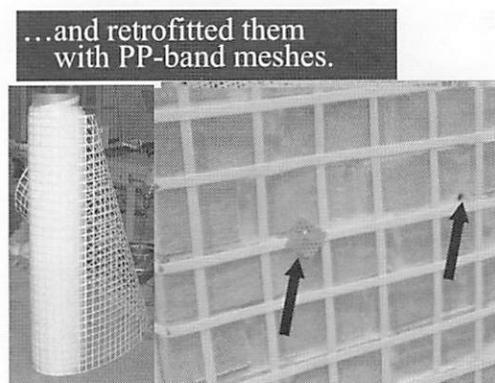
これまで説明したような状況を踏まえて、途上国の耐震性が乏しく地震被害の主原因になっている組積造の耐震性の向上を実現するために私が研究しているローカル・アベイラ

ブルで、ローカル・アプリカブルで、ローカル・アクセプタブルな工法が「100ドル耐震補強」と呼ばれるものです。現地の建物一軒を100ドル程度で補強する工法です。そのために私が選んだ材料が、この荷造りひもです（スライド 6-18）。この紐はポリプロピレンの紐で、一般的には PP-バンドと呼ばれています。とにかく安くて強くて、調べてみると世界じゅうどこでも手に入る材料なのです。事実、私は被害調査などで世界の多くの国や地域に行っていますが、どこに行ってもゴミ捨て場には必ずこれが捨ててあります。化学的にも安定で、加工も簡単だし、軽いので山のてっぺんまで運べます。



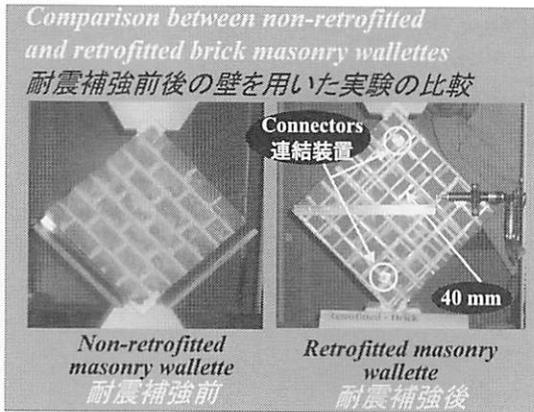
スライド 6-19

これをメッシュにして、壁の内側と外側の両側から挟んで留めます。既存建物に適用する場合は、レンガ壁の目地にドリルで穴を開けます。新築建物に適用する場合は、レンガを積み上げる途中に、モルタル部分にストローのようなものを置いておけば穴が確保されるでしょう（スライド 6-19）。

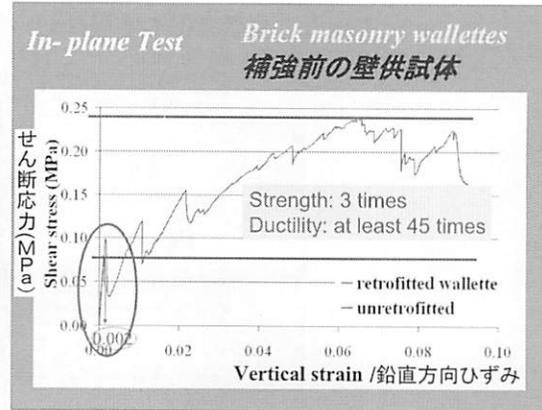


スライド 6-20

その穴を使って、両側のメッシュを針金や紐で連結すればいいのです（スライド 6-20）。

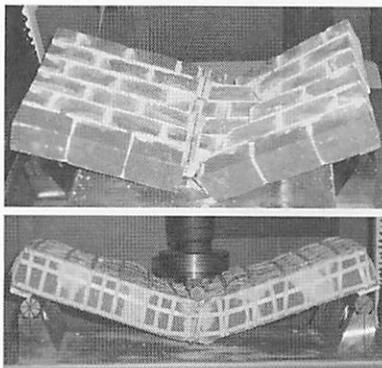


スライド 6-21

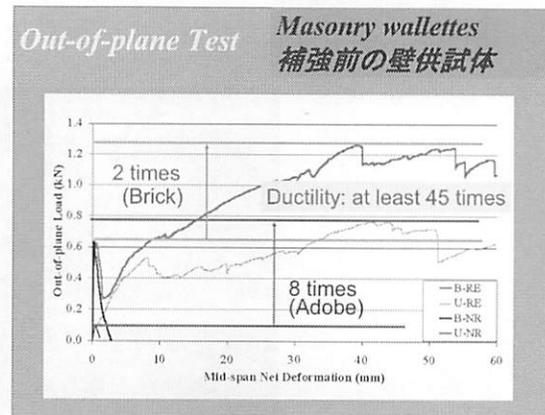


スライド 6-22

供試体を作って破壊実験を行います。まずはインプレーンテスト、面内方向の破壊実験です（スライド6-21）。結果を見ると強度で3倍，変形で50倍というようなパフォーマンスの向上が見られます（スライド6-22）。



スライド 6-23



スライド 6-24

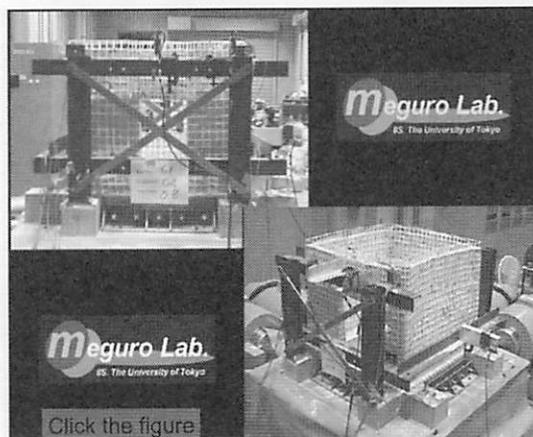
次はアウトオブプレーンテスト、面外方向の破壊実験です（スライド 6-23）。Adobe とは焼いていないレンガ，天日で乾燥させた日干しレンガのことで， Brick とは焼いたレンガです。面外の破壊実験をやると，焼いたレンガで強度が2倍，焼いていないレンガで8倍，変形能ではいずれの場合でも50倍も性能が向上します。この変形能の向上が提案する耐震改修法で耐震性が大幅に向上する重要なポイントです（スライド6-24）。

世界で最も地震に弱い日干しレンガ構造の場合
(上段:非補強、下段:提案手法による補強)(震度5弱)



スライド 6-25

次に振動台実験の様子をお見せします(スライド 6-25)。これは比較実験で、上が補強していないもの、下は補強しているものです。上は震度5弱ぐらいで、「がちゃがちゃ」と簡単に崩壊してしまいましたが、下は大丈夫でした。



スライド 6-26

そこで、下の補強済み建物モデルに、さらに強い地震動を16回の作用させました(スライド 6-26)。このうちの12回は重力加速度(1G)を超える非常に強い地震動(最大は1.4G)です。最初から数えるとトータルでは60回目ぐらいの加振になりますので、見ていただくとわかるように、壁などは傷んで大きく変形しています。しかしこれが驚くパフォーマンスを見せるのです。

ご覧下さい。このパフォーマンスを見たら、構造の専門家の方であればあるほどびっくりします。世界で最も地震に弱い建物がこのような挙動をするとは信じられません。この強さの揺れでは日本の構造物でも耐えるのがかなり厳しいと思います。

私はこの工法がベストだとは言っていないですが、簡便さや費用を考えれば、ワン・ノブ・

ザ・ベスツだとは思いますが、また激しい地震動を受けた際に、壁にクラックを全く生じさせないことを目標にしているものでもありません。私がこの工法で狙っているのは、被害を最小化し住民を死傷させないこと、少なくとも避難する時間を提供することです。そして、被災建物も地震の後で補修して利用できる環境の実現です。

この実験では屋根を乗せていませんが、これは数値解析用のデータをとることも実験目的であり、なるべく簡単な条件で実験を行うためです。カシミール地方のように、木製フレームの屋根を使う場合には、屋根による壁上部の変位拘束効果が期待できるので、耐震性の点からは有利になります。また実験では壁に生じるクラックの位置や進展の方向を観察する必要性から、PP-バンド補強壁の表面にはモルタルなどによる仕上げはしていませんが、これも実際は仕上げ材そのものによる壁量の増加と、仕上げ材による PP-バンドの定着性の向上が、耐震性を向上させるので有利です。



スライド 6-27

実大の建物模型を用いた振動破壊実験の様子をお見せします (スライド 6-27)。焼いていないレンガと焼いたレンガを用いた各 2 種類の建物 (補強済みと未補強建物) を用いた実験を行いました。焼いたレンガに関しては、イランから品質の悪いものを特別の許可をもらって輸入しました。理由は、数年前から低品質のものは輸出禁止になったためです。高品質のレンガでは目的が達成されないので、私たちは特別のサンプルを購入するという理由で何とか入手できました。一方焼成していないレンガは検疫の問題で輸入できないので、こちらに関しては、日本中探し回ってあるレンガメーカーさんに、特別のサイズで焼いていないレンガを特注で作成してもらいました。実験結果からは、実大構造物を用いた実験でも PP-バンド補強法の優れた効果を証明することができました。

組積造を対象とする従来の補強法のほとんどが、新築時のみに適用可能であるのに対し

て、提案工法は新築にも既存建物にも適用できることが一連の実験からわかりました。また被災地では、大量の被災建物から出たガレキ処理の問題が大きな問題にないませんが、提案工法であれば、ガレキの中のレンガはレンガ、石は石、泥は泥なので、これらの材料をとり出して提案工法で再建すれば、ガレキ処理の問題が大幅に軽減するだけでなく新しく材料を購入しなくてすむので、再建費を大幅に抑えられ、まさに一石二鳥なのです。

上で説明した実大模型を用いた「100ドル耐震補強法」の検証実験ですが、この実験には大型高性能振動台の利用や、様々な最新の高性能のデータ取得装置などを多数用いたので経費は随分とかかりました。その経費はJBICが支援してくれました。

4.6.5 現地での実構造物を対象とした耐震補強工法のデモンストレーションと公開実験



スライド 6-28

私は地震直後の被災地に被害調査に行きましたが、現地の人々に私たちの提案する工法の効果を実際に見てもらうために、1年後にまた同じ被災地に行って、現地の典型的な建物を対象とした耐震補強法のデモンストレーションをしました（スライド 6-28）。お金はJICAがサポートしてくれました。さらに1/6スケールの精密なミニチュア模型、PP-バンド補強建物と未補強建物のミニチュアを作製し、これらに振動外力を与える振動台も私たちの指導で現地で作成しました。そして、現地の政治家やマスコミ、国内外のNGOやNPOのリーダーたち、ローカルエンジニア、そして一般市民を集めて公開実験をやりました。効果は絶大でした。その違いは一目瞭然で、参加者一同が十分理解してくれたと思います。

4.6.6 性能を確認するために実施した各種の実験

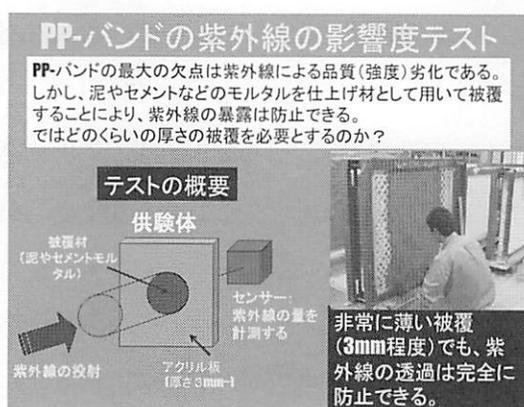


スライド 6-29



スライド 6-30

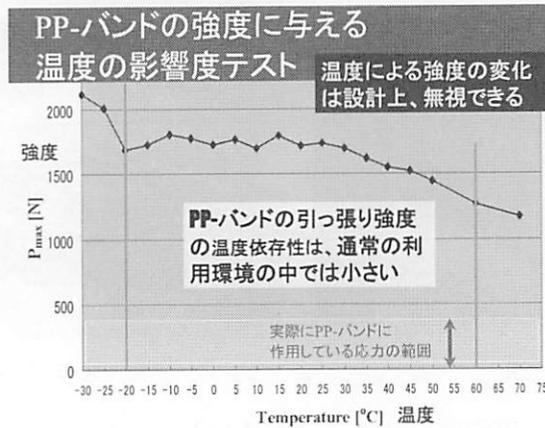
すでにお話したように、実際には最後にはセメントモルタルとか、泥とかで補強建物は被覆されます。仕上げをした現地の左官屋さんによれば、PP-バンドのおかげで仕上げ材が着きやすくなって良かったとのことでした（スライド 6-29）。最終的に仕上げを終えた補強建物の外観はこの写真（スライド 6-30）のとおりです。耐震補強していないものとの差は、外観上はまったくありません。だからローカル・アクセプタブルなわけですが、これに要した補強費は材料が 30 ドルですから、3,000 円ぐらい、現地のエンジニアが私たちの指導を受けながら初めて行った今回のケースで、新築費用の 5% 増しでした。しかし多くの場合では、現地では近所の仲間や親戚などとの協力の上で、住民が自分で自分の家を建設することが多いので実際は、補強に必要となる PP-バンドの材料費だけで住むということです。



スライド 6-31

この材料のメリットに関しては既に多く述べましたが、この材料は一つ欠点があります。それは紫外線照射による劣化の問題です。しかしこの問題に関しても、色別の PP-バンドの紫外線劣化特性の試験や、泥やセメントモルタルを被覆した場合の紫外線の影響度評価

実験もしています。その結果、泥やセメントモルタルでも 2mm 以上の厚さの被覆を行えば、紫外線は 100%プロテクトでき、問題ないことがわかりました（スライド 6-31）。



スライド 6-32

それから、温度の依存性もチェックし、全く問題ないことを確認しています（スライド 6-32）。具体的には摂氏マイナス 30 度から 70 度までの温度帯で PP-バンドの強度特性試験を行い、その範囲で求められる 3 倍程度のパフォーマンスを有することもわかりました。

4.6.7 一般向けの分かり易い情報配信の重要性

公開実験の効果について述べましたが、一般の方々に防災の正しい知識や対処法を知っていただくことは非常に重要です。私はこれまで、途上国を含め多くの防災活動をしてきましたが、これらの活動を通していつも直面してきたのは、行政主導で進めてうまくいかない壁です。このようなときに、私は次のようにしてその状況を打破してきました。

どんな国や地域に行っても、「子供を守りましょう」に対して、「嫌だとか、反対だ」と言う場所はありませんでした。子供を守るということは、子供の教育と学校があれば学校の対策ということになります。子供は無垢で、大人のようにはすれていませんので、いい教材さえ用意すれば一生懸命勉強してくれるわけです。そこである程度勉強してもらった後に、「これをお父さん、お母さんとやってきてください」と宿題を出すのです。

分かり易いフローチャートなどを用意すれば、子供でも自分の家の簡単な耐震診断ぐらいはできるのです。それを親と一緒にやった上で、お父さんやお母さんに向かって次のように言ってくれます。「パパ、このままだとぼくのち、じしんがきたらこわれちゃうよ。ぼくしんじちゃうよ。パパ、いいの。何とかしようよ」、「パパやママが、けがをしたり、しんどりししゃいやだよ。ちゃんとじゅんぴしようよ。」

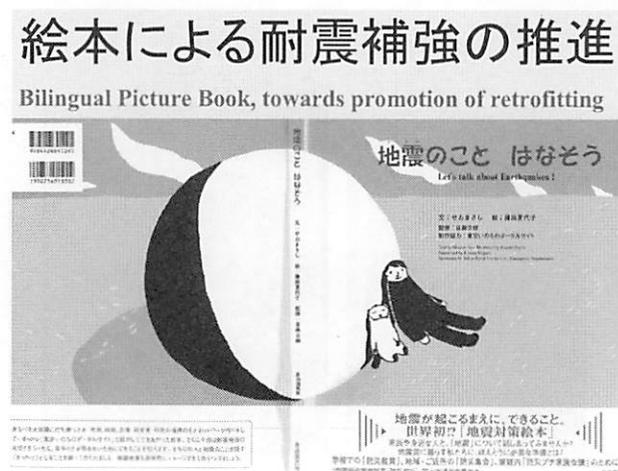
昨日まで、行政主導で防災対策を進めようとしていたときには「なぜおれ様がそんなことやらなければいけないんだ」と言っていた親たちが、子供に言われると「そうだね、何かやろうか」となるわけです。これは非常に重要です。私たちは防災対策の推進のために、いい意味で子供たちをうまく活用することが大切です。これは実はもっと重要な意味を持っています。このような教育や訓練を受けた子供たちが成長し、すぐに社会の中心的な存在になっていくということです。頻繁に経験できない災害だからこそ、経験や教訓をうまく伝承させる仕組みづくりが大切です。

このような視点で今度は日本を見てみましょう。依然として子供の存在は重要ですが、加えて日本では、それに勝るとも劣らない重みで女性の存在が重要になってきます。なぜでしょうか？

「男性よりも女性の方が、地元にいっしょる時間が長いとか、子供に対しての影響が大きいとか、家族の中でお母さんが強いとか、お父さんがお母さんに頭が上がらないとか、お母さんが財布を握っているとか」いろいろな理由があるのですが、とにかくお母さんに入ってもらうことがものすごく重要なのです。

分かり易い一例をご紹介します。住宅の販売員が誰を見ているのか？

お父さんに、「この建物は1階と2階の各方向の壁量が〇〇で、壁量のバランスは△△で、耐震指標は◇◇で、耐震性に優れたいい物件ですよ」などと面倒くさい説明をするよりも、奥様に向かって、「このシステムキッチン、外国製で使いやすく、色もすばらしいでしょう。今、最高の人気商品です」と説明した方が簡単だし、これで「パパ、これに決めましょう」となるわけです。彼らは奥様を味方につける努力をしています。もちろんビジネスになるからです。



スライド 6-33

そういう意味で、防災対策を進める上での女性の役割は大きいですし、影響も大きいのです。このような認識に立ってつくった書籍がこの絵本です（スライド 6-33）。これは完全バイリンガルで、日本語と英語で書かれた絵本ですが、「耐震補強が重要だよ」ということを伝えたいと思って作ったものです。

地震で奥さんと子供を失った男と、もの作りのシンボルとしてのビーバーの会話を通して、地震の怖さや命の大切さを伝えています。最終的には事前対策としての耐震補強の重要性を訴えるのですが、この本の基本コンセプトは、次のようなものです。

お母さん方に、「この絵本を使って子供たちに語りかけてください」と頼みます。語りかけられた子供が「ぼく、たいしんほきょうするよ」と言ってくればありがたいのですが、実行力はそんなにないでしょう。しかしその語りかけをしている間に、その語りかけの手続きの中で、お母さんの意識を何とか変えたいと考えてつくった絵本なのです。

4.6.8 災害イメージングの重要性

時間的な制約から今日は紹介できませんが、適切な防災対策を推進するために最も重要なポイントは人々の災害イメージングの向上です。自分が災害に直面したときに、自分の存在場所、立場、季節や天候等の環境を踏まえた上で、発災からの時間経過に伴って、自分のまわりでどのような事柄が具体的に発生するのかを適切にイメージできるかどうかポイントです。人はイメージできない状況に対しての適切な準備や心構えなど絶対にできません。先ほどの絵本もそうですが、私はこの災害イメージングを高めたいとの思いから、コミックとか絵本とか、一般向けの書籍や資料を最近一生懸命出版しているのです。



スライド 6-34

これは小学校高学年向けのコミックです（スライド6-34の左）。ある小学校5年生の少年の家庭を対象に、地震の前から後まで、どんなことが起こるかをシミュレーションして見せています。身近に亡くなったり怪我をしたりする人が出た場合にどんなことが起こるのか、避難所ではどんな生活になるのか、がんばって努力するけど精神的に病んでしまうこともあることなどを、疑似体験的に見せている本です。

これは小学校低学年向けの絵本です（スライド6-34の右）。この絵本のコンセプトは、震度4とか5弱の揺れは日本全体であれば、年間数回はある。かなり強い揺れなので、皆びっくりする。しかし幸いにして被害が出るほどではないが、地震に対する意識は高くなっている。このタイミングを活用して、防災教育をしましょうというものです。

「びっくりしたね。でも今回の揺れは震度4、5弱だったのでこれぐらいで済んだんだよ。ちゃんと準備しておかないと、今度、震度5強とか、震度6などの揺れが襲ってきたときには大変なことになるよ。事前にちゃんと準備をしておこうね。」と、震度4、5弱の地震のタイミングをうまく活用して効果的な防災教育をしてもらいたいと考えて企画しました。



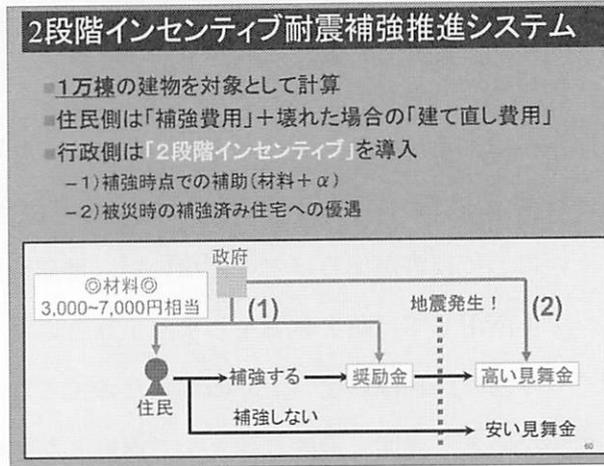
スライド 6-35

次は大人向けです（スライド6-35の左）。地震防災や防災対策には非常識な常識がたくさんあります。この非常識を信用していると大変なことになりますよ、死んでしまいますよと、訴えています。こちら（スライド6-35の右）は、自分の目線で街を見て、その地域の危険性を理解すると、それまで意識していなかったことや気づいていなかったことも、随分と認識でき、今までとはまちの見え方や見方がかわりますよという本です。

以上のような専門書とは別の次元の、子供や一般市民を対象とする書籍や資料のパブリケーションが重要だと重いけど近頃どんどん強くなり、最近このような活動を一生懸命やっ

ているわけです。

4.6.9 「100ドル耐震補強法」を広く普及させるための制度提案

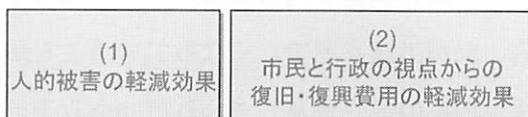


スライド 6-36

ところで、技術だけでは問題解決しない話はすでにしましたが、組積造の耐震補強の推進においても同様です。これを普及させるために、私は「2段階インセンティブ耐震補強推進システム」を提案しています(スライド 6-36)。このシステムの概要とその効果をこれから簡単に説明します。

まず提案システムの効果を、人的被害の軽減効果と、復旧・復興時に必要となる経費の軽減効果の2つの指標で評価します。この評価を行う上で、地震の揺れの強さを表す震度階を用いますが、これが日本で一般に使われている基準(日本気象庁の震度階: JMA 震度階)と諸外国では違うので、JMA 震度階と諸外国で広く使われている代表的な震度階として修正メルカリ震度階(MMI 震度階)を比較しておきます(スライド 6-37)。これから後の説明では MMI を用いますが、この対応表を使うとなじみの深い JMA 震度階に変換してお考え頂くことが可能になります。

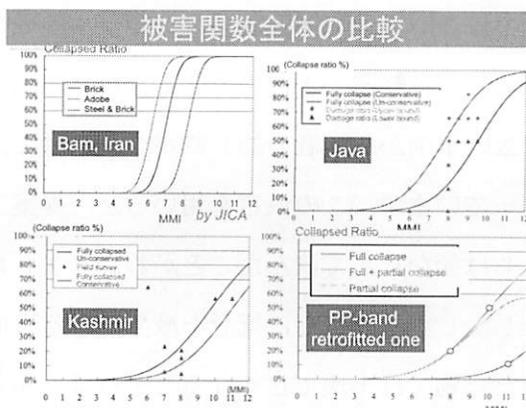
効果を評価する



震度階の比較 (MMIとJMA)

MMI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
JMA	0	1	2	3	4	5-	5+	6-	6+	7		

スライド 6-37



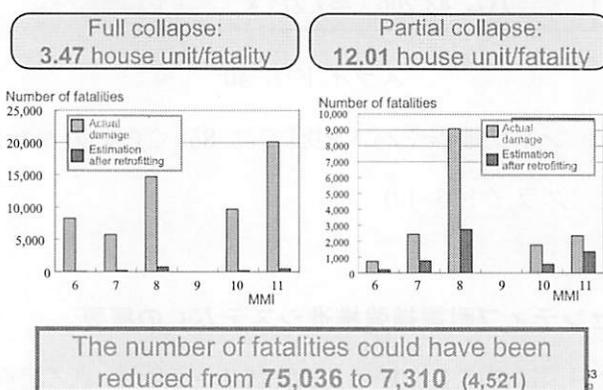
スライド 6-38

これは被害関数とかフラジリティカーブと呼ばれる曲線です (スライド 6-38)。どれぐらいの強さの揺れ(地震動)を受けた場合にどれぐらいの割合の建物が壊れるか、揺れの強さと被害の割合の関係を示したものです。Brick というのはレンガ, Adobe というのは焼いていないレンガです。Steel & Brick とは、スチールフレームにレンガ壁を組み合わせたもので、MMI 震度 5~7 ぐらいで急激に壊れることがわかります。

建物の耐震性が、地域や建物のタイプによって異なるので、何種類ものカーブが作成されるわけです。それが今回の提案手法で補強すると、ずっと耐震性が向上するので、同じ強さの揺れ(震度階)で壊れる割合がずっと低くなるのです。

4.6.10 提案工法による死者軽減効果

死者数軽減効果の評価(90%減)



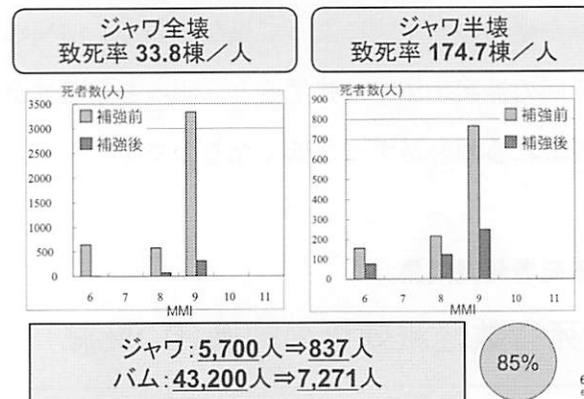
スライド 6-39

この関係と、実際の地震の際にそれぞれの震度の地域でどれだけの建物被害があったかのデータから、各震度の地域ごとに、どれだけの被害軽減が可能かを算出することができます。

では PP-バンド補強法がカシミールの地震のときに事前に普及していたとすると、被害はどれだけ軽減できたのでしょうか？組積造建物の被害による人的被害の内訳を見ると、過去の事例から死者の約 8 割が全壊家屋で、約 2 割が半壊家屋で亡くなっていることがわかっています。この仮定を用いると、提案工法が地震の前に普及していれば 90%以上の人たちは死ななくて済んだことがわかりました（スライド 6-39）。

しかし実際はさらに死者を減少できる可能性が高いと言えます。PP-バンド補強法で補強した建物では半壊で亡くなることはほとんど無くなると考えられますからです。その理由は、組積造の半壊で亡くなる理由が、壁の上部から外れた組積の塊やレンガが落ちてきて、それが人にぶつかって犠牲になるわけですが、それが提案工法では組積壁はメッシュに包まれているので、一部分が落ちてくる可能性はずっと減るのです。ですから、死者の割合は 8 対 2 ではなく、例えば 95%対 5%とかになる可能性が高いので、亡くなる人はもっと減ると予想されます。

死者数軽減効果の推計(85%減)



スライド 6-40

同様な検討を行うと、ジャワ地震やバム地震では 85%ぐらいのかたは亡くならず済んだことがわかりました（スライド 6-40）。

4.6.11 「2段階インセンティブ耐震補強推進システム」の概要

次に私が途上国と我が国に提案している「2段階インセンティブ耐震補強推進システム」の概要を説明します。提案する PP-バンド耐震補強法では、対象としたモデルハウスですと、1軒の補強に 4,500~5,000メートルほどの PP-バンドが必要になります。カシミールでの価格を対象にすれば、1メートルの PP-バンドが 0.6円程度なので、5,000メートルで約 3,000円、米ドルでは 30ドル程度です。日本でも日曜大工用具を販売している大手の DIY

ショップなどでの価格を参考にすれば、同じく 5,000 メートルで 7,000 円、米ドルで 70 米ドル程度になります。先進国の人間にとっては、3,000 円の経費はそれほど高いとは思いませんが、世界に目をやればこれでも高価で手の出ない生活をしている人たちは多いわけです。そこでどうするか？

まずは政府や支援組織が材料を購入してこれを建物の持ち主に提供し、これを使って補強するように働きかけます。その結果、どうなるか？過去の多くの支援活動で何回も直面したことですが、30 ドルが支払えない人たちなので、30 ドルの材料を得ればこれを転売してキャッシュを得ようとするでしょう。これでは建物の耐震性の向上は望めません。それでは次にどうするか？

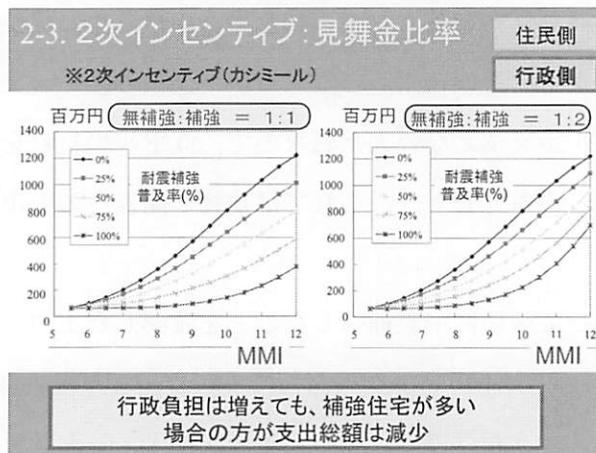
提供された材料を使って適切に耐震補強したことを確認した上で、30 ドルの報奨金を提供することを約束する。30 ドルが高価な人たちですから、この報奨金は魅力です。この報奨金欲しさに耐震補強を行うわけです。この報奨金が第 1 インセンティブです。政府や支援機関は 1 世帯当たりの補強に 60 ドルを用意するという意味です。既に説明したように、補強が完了すれば補強建物と未補強建物とは外見上の差はない。生活スタイルを変える必要がないのでローカルアクセプタブルなわけです。しかし既に説明したように将来の地震時の被害は、全体としては人的にも物的にも劇的に減少します。

しかし 1 人の建物所有者の視点から見た場合には、地盤が悪かったり、補強が不十分だったりして、hokyoushitatoshitemo 確率的には壊れてしまう場合も出てきます。これではもう一回補強しようと思っただくことは難しい。このような場合には、事前に補強せずに壊れてしまった建物の所有者に比べて優遇し、より高額の見舞金を出すことを約束する。たとえば 2 倍の額とか、建物の再建に十分な見舞金を出すことを約束するのです。この高額の見舞金が第 2 インセンティブです。

地震災害が起こったときは、被災地の様子を被災地外の多くの人々が注目して見ています。そのときに、PP-バンド工法で耐震補強しておくことで被害が劇的に減ること、さらに万が一被災した場合も優遇されるので、被災生活からの復旧や復興がずっとスムーズに達成されることをアピールできるのです。そしてこのタイミングが、この工法と促進制度を広く普及させるチャンスだということです。一方、耐震補強済み建物が被災した場合の見舞金を増額しても、耐震補強によって被災建物数は大幅に減少するので、トータルとしての見舞金は大幅に減額できます。つまり政府や財政支援組織から見ても、一般市民から見ても、災害時の出費を大幅に軽減できるということです。

4.6.12 提案工法による災害時の経費軽減効果

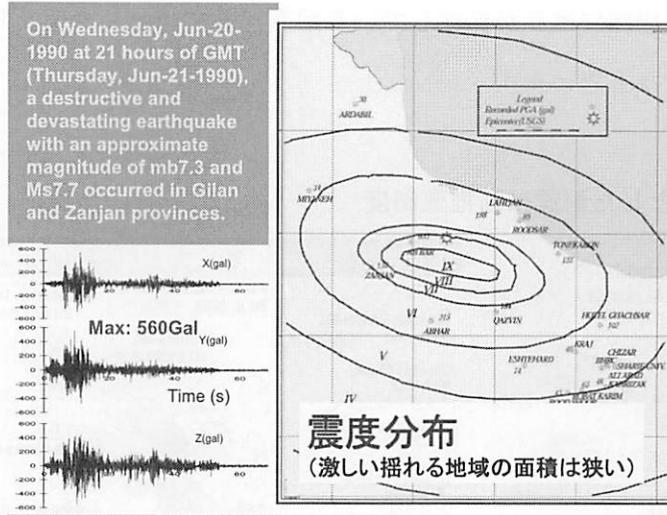
ではどの程度の軽減効果があるのかを定量的に見てみましょう。まず1万棟の未耐震補強組積建物と耐震補強組積建物が、それぞれの震度の場所に存在していることを仮定して検討します。



スライド 6-41

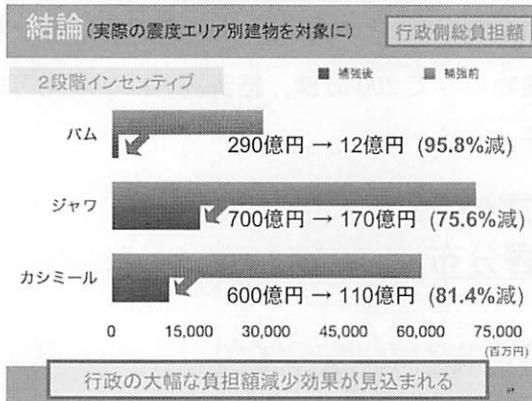
バム地震、カシミール地震、ジャワ地震ではいずれも家が壊れると、新築費用（依頼して住宅を新築する費用）の1/3強の見舞金が被災世帯に渡されています。事前に耐震補強したにもかかわらず被災した世帯への見舞金を2倍に引き上げた場合を考えます。2倍になると、依頼して住宅を新築する費用の7割から7割5分になるので、自分で再建するには十分な額になります。スライド6-41の図は左が見舞金に差をつけない場合、右が見舞金に2倍の差をつけた場合です。まず両方で共通することは、補強率が高まるに従って見舞金の総額は減少することです。これは被害が減少するからです。次に左右の図を比較すると、補強率がゼロの場合には両者には差がないが、地震動が強くなってくると舞金を増額した右のグラフで経費が増大します。特に地震動が強いMMI震度の大きな箇所では急激に増大します。これは補強しても被災する建物が発生してくるからです。しかしこの場合も補強率の違いで比較すると、補強が推進した方が出費が減ることがわかります。

この検討で全体の傾向はつかめます。しかしこれは現実的な評価にはなっていません。理由はそれぞれの震度に存在する建物の数が同じであるという仮定のためです。説明するまでもなく実際の地震では、スライド6-42のように大きな震度階のエリアほどその面積は狭く、震度階が低くなるほどエリアの面積は大きくなります。

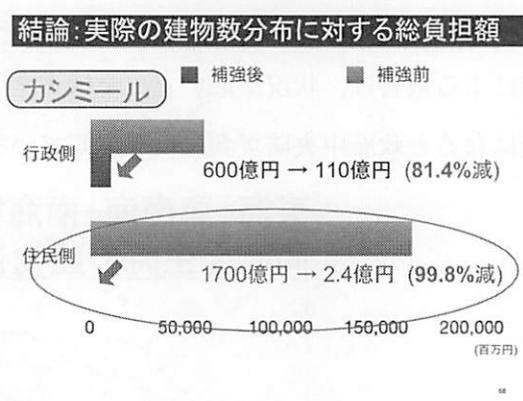


スライド 6-42

そこで実際の震度階のエリアの面積に応じた検討をしてみると (スライド 6-43), 2 段階インセンティブ制度がある場合とない場合とでは, バム地震のケースでは, 政府の地震の後の経費は 95%以上減らすことができたことがわかりました. 他の 2 つの地震でも, ジャワ地震で 86%ぐらい, カシミール地震でも 76%程度の経費を節減することができたことがわかりました. 政府や財政支援機関の視点からは, 事前に 2 倍の材料費を出し, その上で震補強済みで被災した世帯への見舞金を倍増したとしても, PP-バンド耐震補強法による耐震補強を推進したほうが財政的に大幅に得だという事です.



スライド 6-43

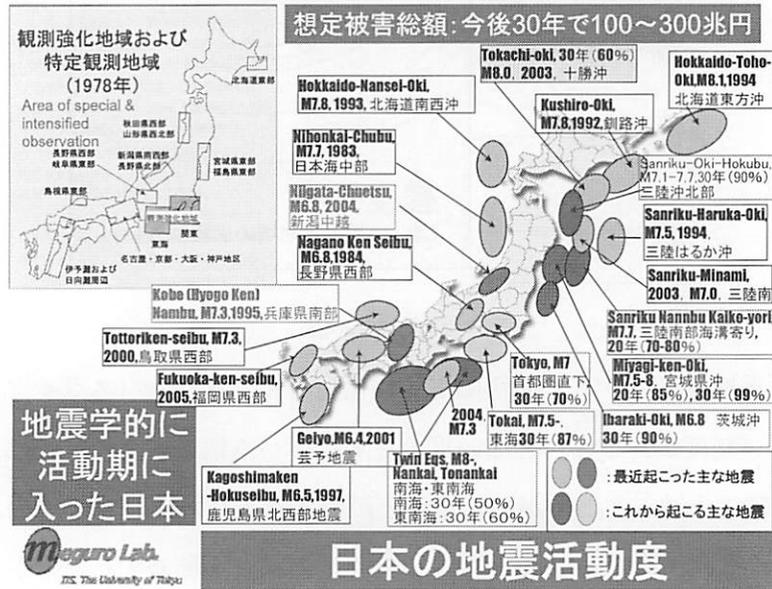


スライド 6-44

一方, 市民から見たらどうでしょうか? 実はもらい過ぎだというぐらい得をします. つまり, 材料を無料でもらって補強したら報奨金がもらえる. その上で被災したらまた増額された見舞金がもらえるのですから, 市民の視点からは得だらけなのです. これはカシミールの事例 (スライド 6-44) ですが, 99.8%の経費が軽減できます. ほかの二つの地震ではマイナスになりますから, これは簡単にいうと焼け太り状態になるということです.

以上の結果から、皆様には私が提案している耐震補強技術とその普及制度の効果を明確に分かっていただけたと思います。

4.7 わが国を対象とした耐震補強推進制度



スライド 7-1

現在のわが国は地震学的に活動度の高い時期を向かえ、今後 30~50 年の間に M8 クラスの地震が 4~5 回、兵庫県南部地震や発生が懸念されている首都直下地震などの M7 クラスの地震はその 10 倍の 40~50 回発生すると考えられます (スライド 7-1)。これら一連の地震による被害は、状況が悪いと、全壊・全焼建物のみで 200 万棟、経済被害は 200 兆円規模になると政府中央防災会議は予想しています (スライド 7-2~7-4)。



スライド 7-2



スライド 7-3

近未来の地震による被害(全壊・焼失のみ)

海洋性の巨大地震による被害

東海地震: 50万棟
東南海地震: 39万棟
南海地震: 23万棟(合計: 112万棟)

東海+東南海+南海地震: 100万棟

首都圏直下地震(M7.2)

80万~90万棟 兵庫県南部地震では
全壊10.4万、全焼7500棟

スライド 7-4

このように地震が多発する危険性の高い時期や地域における防災の最重要課題は、耐震性の不十分な既設の建物、既存不適格建物の建替えや耐震補強（改修）を推進することです。どんなに優れた事後支援システムや復旧復興システムを持っていようが、被害抑止力の代表である住家の耐震性をあるレベル以上高めないと、被害を大幅に減らすことは不可能であり、この状況は途上国と変わりません。しかし兵庫県南部地震から十年以上を経ても、これはうまく進展していません。

既存不適格建物の耐震改修を促進するためには、まず耐震補強の重要性に関する認識を高めること、そして適切な「技術」と「制度」の整備が必要です。耐震補強の重要性を認識するには災害イメージングの向上が不可欠です。技術としては、診断法にしろ補強法にしろ、信頼性が高く適切な価格であることが重要です。制度としては、努力をした人が得をする制度になっていることが重要です。さらにオールジャパンを対象に、長期的に

真に防災に貢献するもの、納税者に説明責任が果たせるものになっていることが求められます。

上記のような視点から見ると、耐震補強を取り巻く現状のシステムの多くは問題を有していると私は感じています。

4.7.1 耐震強度震偽問題建物の比ではない既存不適格建物の数

耐震強度偽装問題が社会的に大きな話題になっています。マスコミでも有名になった元建築士の○菌氏とか、ユーザーの△△氏とかが絡んだ耐震性に問題のある建物が全国にどれぐらいあるかという、集合住宅とかホテルなどを合わせて、およそ100~200棟ぐらいです。

話を簡単にするために150棟としましょう。一方、彼らと全く関係のない物件で、同じように、あるいはそれ以上に耐震性に問題のある物件、いわゆる既存不適格建物が全国にどれぐらいあるかという、事務所ビルやホテル、集合住宅などを合わせると150万棟あるのです。1万倍の規模です。さらに戸建て住宅の既存不適格建物は1,000万戸以上あります。数の問題で言えば、耐震強度偽装問題の建物とはまったく比較にならない多数の既存不適格建物が存在しているということです。

ですから、「耐震強度偽装マンションをだまされて購入した人たちは本当に気の毒だね。地震が心配でゆっくり休むこともできないわね」と、TVを見ているあなたの家はもっとまずいということが幾らでもあるのです。地震動は耐震強度偽装問題の建物だけに作用するわけではありません。耐震強度偽装建物が問題だとすれば、これをきっかけに他の多数の既存不適格建物の問題も解決するように考えていくことが重要で、その仕組みづくりが今は問われているのだと思います。

4.7.2 耐震補強を推進するための制度

では、どのような制度を作ればいいのか。政治家を含めて、皆さんがよくおっしゃるのは、「事前に行政がお金を用意して、これを使って市民が耐震補強をしやすい制度をもっと充実すべきだ」とか、「そんなに多くの方々が被災するのであれば、その人たちはかわいそうなのだから、彼らを手厚く支援する事後支援制度を充実すべきだ」というものです。この二つは両方とも絶対に実現できないし、非常に無責任な制度であることを、多くの皆さんに知っていただくことが大切です。

耐震改修が推進しない理由

◆重要性の理解不足

(災害イメージの欠如)

◆技術と制度

◆技術(高性能でも、高価ではだめ)

(安価、ただし安過ぎない)

(信頼性が高い、多様なメニュー)

◆制度(やった人が得をする)

(信頼性の担保、安心感)

スライド 7-5

木造に限っても 1,000 万戸を超える既存不適格建物と、そこに住む人々の状況を考えると、「技術」に関しては、性能は高いが高価な工法は問題解決の決定打にはなりません。低価格なこと(ただし施工者に応分の利益が上がること)、そして実施した際の「効果」(これが著しく高くなくても)が信頼性の高い情報として、持ち主に理解してもらえる環境の整備が重要です。「制度」としては、建物の持ち主に耐震改修に対する強いインセンティブを与えるものであり、かつ「技術」の価格や信頼度に関わる不確定性をカバーする機能を持つことが求められます(スライド7-5)。近い将来の地震で、全壊・全焼のみでも 200 万棟を超えるような被害が予想される中では、「事前に行政がお金を用意して進める現在の耐震補強支援策」も、今盛んに議論されている「行政による事後の手厚い被災者支援策」も財政的に全く成り立ちません。さらに副次的にも多くの問題を生むのです。前者では数を限って実施しても「やりっぱなし」の制度が、悪徳業者が入り込む環境を作っているし、後者は最も重要な事前の耐震補強対策へのインセンティブを削ぎます。いずれもオールジャパンを対象として、長期的な視点からわが国の防災に貢献する制度になっていないし、公的な資金の有効活用の点からも説明責任が果たせるものになっていないのです。

4.7.3 防災における「自助」「共助(互助)」「公助」

防災においては「自助」「共助」「公助」が重要ですが、基本は「自助」にあります。また「共助」や「公助」は「自助」を誘発する仕組みがないと、大幅な無駄やモラルハザードを生むだけでなく、被害軽減に結びつきません。

目黒の3つの提案

(公助・共助・自助)の全てに貢献する制度

◆行政によるインセンティブ制度

◆耐震改修者(自助努力した所有者)による積み立て

◆新しい地震保険

この3つで、耐震改修さえしていただければ、万が一、被災しても、新築の家一軒を再建できる費用を提供できる。
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

スライド 7-6

地震防災における「自助」の最重要なアクションは持ち主による事前の「建替え」と「耐震改修」です。これを実現する「制度」として、私は「行政によるインセンティブ制度(公助)」、「耐震改修実施者を対象とした共済制度(共助)」、「新しい地震保険(自助)」を提案しています(スライド7-6)。これら三つの制度(目黒の三点セット)により、耐震改修が不要な高い耐震性の建物に住む人と耐震改修を実施した人は、将来の地震で万が一、全壊・全焼などの被害を受けても新築住宅の建設に十分な支援を地震後に受けることができる環境が整うのです。

4.7.4 目黒提案の公助システム

わが国は自然災害については自力復興を原則としています。しかし実際には、被災者には各種の公的支援がなされ、阪神・淡路大震災の際には、ガレキ処理や仮設住宅の供給、復興住宅の建設などをはじめとして、全壊住宅世帯には一世帯当たり1,300万円、半壊でも1,000万円規模のお金が使われました。もちろん被災者個人のポケットに直接入ったわけではなく、彼らを支援するために使われたので、支援を受けた側もそれだけ巨額の支援を受けたという自覚はありません。考えてみれば、これらの多くは建物被害がなければ費やす必要のないお金であり、その主な原資は公費です。

そこで私は次のような「行政によるインセンティブ制度」を提案しています。事前に持ち主が自前で耐震診断を受け改修の必要がないと判定された住宅、または改修をして認定を受けた住宅(公費の軽減のために自助努力したもの)が、地震によって被害を受けた場合に、損傷の程度に応じて、行政から優遇支援される制度です。この制度が実現すると、私の試算によれば、被災建物数が激減するので、行政は全壊世帯に1,000万円を優に越える支援をしてもトータルとしての出費は大幅に減ります。

自治体が事前にお金を用意して、市民に補強をお願いする現在の制度は、既存不適格建物数を考えると、都道府県単位で地震の前に数百億円から一兆円規模の予算措置を必要とし、全く現実的ではありません。しかも建物の数を限って実施したところで「やりっぱなし」の制度であり、「悪徳業者」を生みます。さらに高額補助金を出す自治体では、市民がなるべく高い資金援助を得るために所得が低くなるまで改修を先送りしたり、高い支援金を見込んだ業者による改修が他地域に比べて著しく高額になったりする問題が生じています。

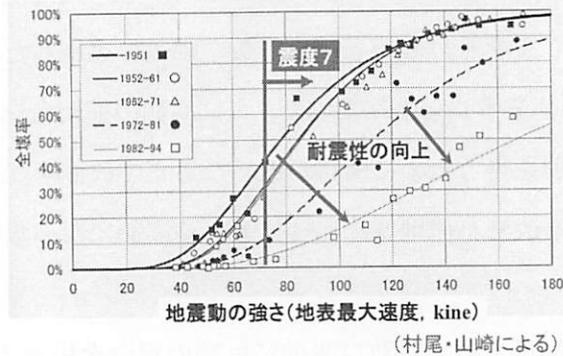
一方、私の提案する制度では、行政は事前に巨額の資金を用意する必要がありません。また発生する被害を激減させ、行政と市民の両者の視点から地震時の出費を大幅に軽減し、税金の有効活用を実現します。しかも経契約建物の耐震性を継続的にウォッチングする仕組みが誘発され、これが社会ストックとしての住宅の継続的な品質管理に貢献します。さらに「やりっぱなしの悪徳業者」を排除し、地元で責任あるビジネスをもたらす、地域の活性化にも貢献するのです。

この制度では、以下に述べる「行政によるリバースモーゲージ」も有効です。経済的な理由から耐震改修できないという世帯を調べてみると、ほとんどのケースでは「今キャッシュがない」だけで、土地付の住宅や生命保険などを持っています。この人たちには土地や生命保険を担保に、金融機関から耐震補強費を借りて、まず補強をしてもらう。しかし毎月の支払いが難しいので、その分を行政が公的資金から貸し出してあげる。払い戻しはその世帯主が亡くなった際に一括して行えば良い。こうすることで市民の命が守られ、行政は地震時の出費を大幅に軽減できます。市民も損害を軽減できるし、仮に被災した場合も行政から手厚いケアを受けることができるのです。

4.7.5 目黒提案の「共助」システム

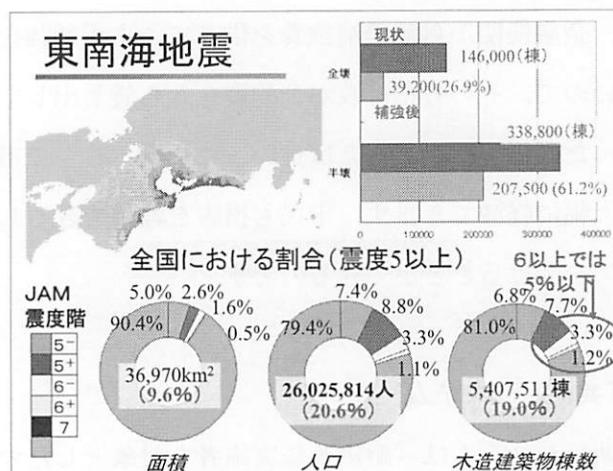
私の提案する「共助」システムは「耐震改修実施者を対象としたオールジャパンの共済制度」です。耐震改修済みの建物が被災するのは概ね震度6以上の場所にある建物の数%程度です（スライド7-7）。

建築年代別木造被害関数(全壊率)

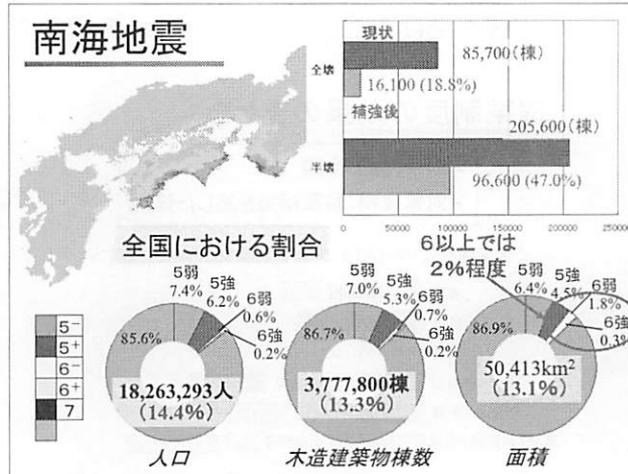


スライド 7-7

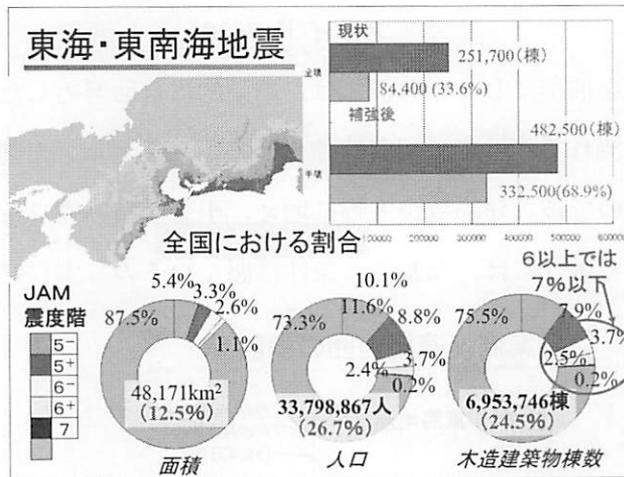
現在心配されている巨大地震が発生しても、震度6以上の揺れに曝される地域に存在する建物は、南海地震で全国の建物の2%程度、東南海地震で5%程度、東海・東南海地震の同時発生の場合で7%、わが国で想定される最大級の地震である東海・東南海・南海地震の同時発生するときでも10%以下です(スライド7-8~7-11)。ゆえに将来の巨大地震発生時でも耐震改修済みの建物が被災する確率は、全国比でせいぜい数百分の一程度になります。つまり数百世帯の積み立てで全壊被災世帯1軒、半壊世帯2,3軒を支援する割合です。



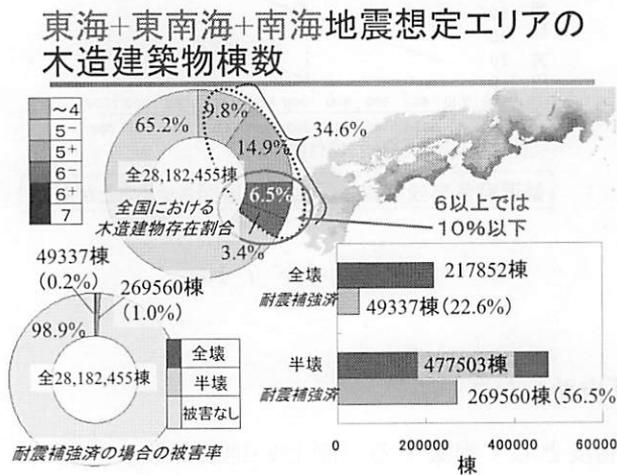
スライド 7-8



スライド 7-9



スライド 7-10

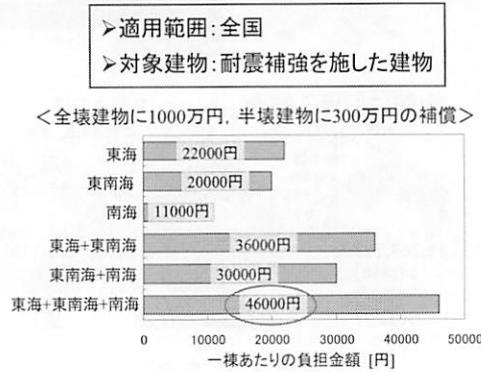


スライド 7-11

私の試算では、東海・東南海・南海の連動地震を想定しても、耐震改修時(100~150万円の支払い時)に4~5万円程度(消費税以下)の積み立てを一回だけすれば、全壊時に1,000

万円，半壊時に 300 万円の支援を受けることができます(スライド 7-12)。

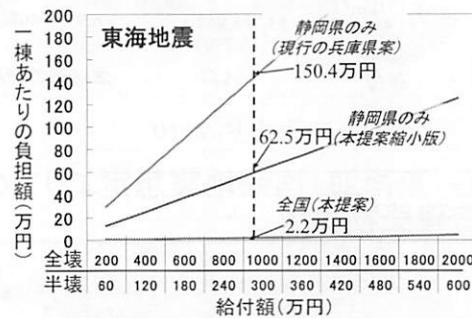
提案制度の効果のまとめ



スライド 7-12

ところが耐震改修を前提にしない共済では，結果的に自助努力した人から集めたお金が努力していない人に流れるだけで，耐震補強へのインセンティブを削ぎます．しかも補強を前提にしていないので被災建物数が大幅に増え，十分な積み立ても難しい．対象地域を特定の県に限っている場合には，なおさら条件は悪くなるのです(スライド 7-13)。

提案制度適用範囲の検討



都道府県単独ではなく，全国に展開させることが有効

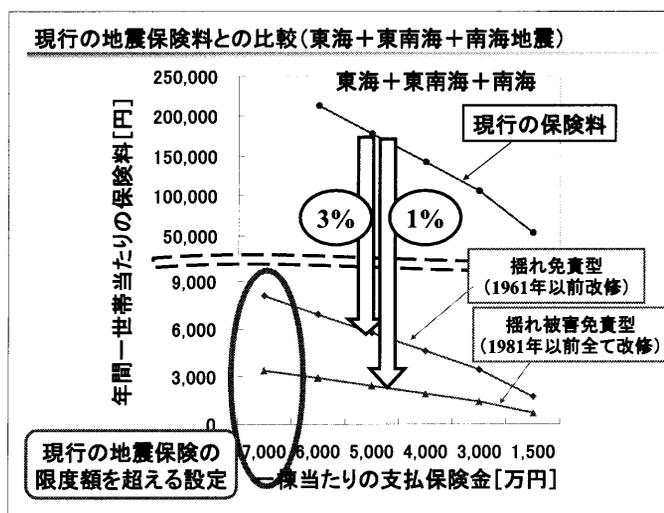
スライド 7-13

4.7.6 目黒提案の「自助」システム

最後に「自助」の制度として提案する「新しい地震保険」を紹介します．耐震改修済みの住宅が揺れで壊れる可能性は著しく低いことは説明したとおりです．またすでに説明したような目黒提案の「公助・共助」制度で，揺れで被災した場合には新築に十分な 2,000～3,000 万円という支援が行政(公助)と共済(共助)から得られます．敢えて地震保険に期待する必要がないわけです．問題は震後火災です．そこで私の提案する制度は，揺れによ

る被害を免責にする地震保険です。すなわち、揺れには耐えて残ったが、その後の火災で被災した場合に役立つ保険です。

兵庫県南部地震は風の影響が少なかったとはいえ、揺れで被災した建物は全半壊で 25 万棟、一部損壊はさらに 39 万棟である。一方延焼火災建物は 7 千数百棟であり、全半壊だけを対象にしても、揺れによる被害と火災による被害は数十倍違います。建物の耐震性が高まると初期出火率が低下するだけでなく、消火活動の条件が向上するので、延焼火災数はさらに減少します。私の試算によれば、揺れによる被災建物を免責にした場合の補償対象建物数は、簡単に百分の一程度になります（スライド 7-14）。年間 10 万円の保険料が千円になるという意味です。これならば地震保険の割高感もなくなるし、火災保険の 30～50%という地震保険の補償制限も撤廃できるでしょう。



スライド 7-14

4.7.7 認識を改めるべきこと

耐震改修費は木造住宅で平米当たり 1 万 5 千円が目安です。100 m²なら 150 万円。最近ではもっと安い工法が多く提案されています。自家用車の値段と比べてみてください。これで家族と財産を守ることができます。しかもその効果はずっと続くのです。自家用車を購入する際、多くの人は強制保険はもちろん、任意保険も買います。なぜか？ 交通事故の悲惨さがイメージできるからです。しかし耐震補強の重要性についてのイメージは低い。さらに自動車保険は、保険ビジネスが成り立っていることから、支払った保険料の投資対効果は 1 以下です。しかし現在の地震活動状況を考えると、耐震改修の投資対効果(耐震改修費とそれによる期待被害軽減額の比)が 5 倍～10 倍という例(地域と物件)はざらです。

よく耐震改修に使う「お金がない」という声を聞きますが、その一方で、耐震補強と無関係なリフォームは、現在、統計よってばらつきはあるものの年間40～70万棟の規模で、平均450～740万円以上かけて行われています。このリフォームの機会を活用して耐震補強をすれば、経費は簡単に半分程度になります。

現在のわが国のように地震活動度の高い地域や時期には、「市民一人一人が事前の努力でトータルとしての被害を減らすしくみを作った上で、努力したにも関わらず被災した場合に手厚いケアをする制度」の整備が重要です。「やられた人がかわいそうだから、なるべく多くのお金を支援してあげよう」的な制度は財政的に成り立たないし、被害を減らす効果もありません。このような制度のために、地震のたびに甚大な被害を受け、また財政的な問題に悩んでいるトルコの事例に学ぶべきです。耐震基準を守らない建物が多いトルコでは、1999年の地震でも約1万8千人の犠牲者が出ました。にもかかわらず耐震補強は全く進んでいません。理由は地震で壊れた持ち家に対して、行政が新しく恒久住宅を建てて供与する制度があるからです。最近の北アナトリア断層の地震活動度からは、同国最大の都市イスタンブールを襲う地震の発生は時間の問題で、その被害額はGDPの3割(日本に置き換えて150兆円)に達する見込です。さらに住宅供与制度のため、GDPの4～5%(同様に20～25兆円)の予算が必要になります。これらの数値は、制度のあるなしにかかわらず、地震後にトルコ政府がこの規模の被災者支援を行うことが不可能なことを示しています。にもかかわらずこの制度のために、市民は全く耐震補強を実施しようとはせず、将来の地震被害を大きくする方向に進んでいるのです。さすがに問題に気づいて地震保険なども検討されましたが、これも建物の耐震性の向上なくしては機能しません。

4.7.8 今、流れを変えておかないと

我が国が今トルコと同様の方向に進み出しています。何もせずに弱い家に住んでいて、それが地震で壊れると生活再建費が行政から支援される制度「被災者生活再建支援法」が生まれ、そして用途の拡大や所得制限の緩和などの改正がなされました。これは再考すべきです。私は被災地で困っている人を助ける制度を否定しているわけではありません。この種の制度を考える場合には、同時に事前に自助努力した人が被災した場合の優遇制度を整備しないと、「自助」のインセンティブがなくなり、被害が増大するとともに莫大な公的資金が無駄となることに警鐘を鳴らしているのです。

被災者生活再建支援として現行のように全壊被災世帯に300万円支援しても、これだけ

ではもちろん足りません。阪神・淡路大震災の事例に従えば、さらに1,000万円を支援する必要があります。我が国のように、近未来に莫大な地震被害が想定される中でこのような制度が成り立つでしょうか。私の提案する制度を「弱者切捨て」の制度と勘違いする人がいますが、これは大間違いです。提案するような制度によって、多くの人々に具体的に被害を減らす行動をしてもらい、将来発生する被害量を激減させないと、現状では本当に弱い人をつけることができない状況に陥ってしまうことお気づきください。

私は中越地震の前から繰り返し指摘してきたことがあります。それは次のようなものです。

今後は被災者生活再建支援制度によって支援を受ける人が出てくる。このような状況下で私が最も恐れていることは次の点だ。

防災の専門家として起きて欲しくはないが、最初の地震が、数十万棟の全壊建物を生じするような地震であれば、自助努力を条件としない現行の支援制度の問題を多くの人々が認識できる。なぜならこれが被害抑止にまったく貢献しないばかりか、莫大な予算を必要とすることがはっきりするからだ。問題は、数百～千世帯程度が支援を受ける地震が起こった場合だ。マスコミは支援を受けた被災者に支援制度の感想を尋ねるだろう。支援を受けた被災者は、「このような制度があつて本当に助かりました」と涙ながらに答えるだろう。この人は支援を受けた人だ。その時点では残念だがタックスペーヤーの視点はなく、タックスイーターの視点に立っている。マスコミはさらに質問を続ける。「この制度に関して何か要望や意見はありませんか？」支援を受けた被災者は、「300万円はありがたいが、これだけでは足りません。何とか増額できないものでしょうか」と答える。このような発言を受けて、マスコミや一般社会、そして政治家たちはどう対処するだろうか？

現在の地震学的な環境と地震被害のメカニズムを十分理解した上で、タックスペーヤーの視点から適切に発言できる人は限られている。残念だが、「もっと増額すべきだ」的発言や世論が出てくることは想像に難くない。被災者が傍らにいて、このような議論になった場合に、この流れを止めるのは容易ではない。

4.8 さいごに

本日は「これからの都市防災：ハードとソフト、国内と国際の視点から」というタイトルで、私が考える「防災対策のあるべき姿」や防災における国際貢献などの話をさせていただきました。

世界各地の災害を調査してきた私の考える防災力向上の基本は、発災からの時間経過の中で、自分の周辺で起こる災害状況を具体的にイメージできる人をいかに増やすかに帰着します。イメージできない状況に対する適切な心げや準備などは絶対無理です。現在の防災上の問題は、社会の様々な立場の人々、すなわち、政治家、行政、研究者、エンジニア、マスコミ、そして一般市民が、災害状況を具体的にイメージできる能力を養っておらず、この能力の欠如が最適な事前・最中・事後の対策の具体化を阻んでいる点にあります。

多発する地震や台風をはじめとする災害を考えると、私たちに与えられている時間な余裕はないし、自分のしてきた仕事の良し悪しを、地震によって否応なしにチェックされる状況にあります。被害想定なんか何度やっても被害は全く減りません。その結果に基づいて具体的な目標を掲げ、それを達成するための計画を立案し、実施して初めて被害が軽減される。そして、その達成度を定期的に確認する仕組みを作ることが肝心です。

対象地域の特性を十分踏まえた上で、ローカル・アベイラブルで、ローカル・アプリケーションで、ローカル・アクセプタブルな技術と制度の両面からの対策を立案し推進していかなくてはなりません。最先端だが、現地では活動できない技術や、今見えていることだけを前提とした制度では防災力の向上は期待できません。

わが国に関して言えば、オールジャパンを対象として長期的な視点からタックス・ペイヤーに対して、責任ある説明のできる制度が今求められています。この制度こそ、本当に悲惨な人を適切に支援するために必要な制度であることをご理解いただきたい。

今やるべきことは、やられた人がたくさん出るから手厚い支援をしましょうとか、事前にお金を用意してという現実離れした話ではなくて、みんなで被害を減らす方向のインセンティブを作ったうえで、それでもやられた人をケアするということによって被害を減らすということです。そうやって最終的に実現したいと考えているのが、「いい場所に、いいものを作って、よくメンテナンスして、長く使う」というまちづくり、あるいはすまい観といったものの創生なのです。そうしない限り、少子高齢・人口減少のわが国の住宅ストックの維持管理はできませんし、安全・安心な社会で豊かさを感じながら生活を送る環境の実現はありません。

時間が超過してすみませんでした。もっとお話ししたいことがたくさんあったのですが、それはまた次回以降の機会での話題とさせていただければ幸いです。また、この後の懇親会でも、話の続きをさせていただくこともできると思います。

今日は雨の中、足場の悪い中お集まりいただき、本当にありがとうございました。今後

も ICUS は頑張っていますので、今までと変わらぬご指導・ご鞭撻を賜りたいと存じます。
本当にどうもありがとうございました（拍手）。

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
<http://icus.iis.u-tokyo.ac.jp/>
E-mail: icus@iis.u-tokyo.ac.jp

Tel: (+81-3)5452-6472

Fax: (+81-3)5452-6476