

## 「アジア諸都市の洪水と安全上の課題」

Herath A. Srikantha (東京大学生産技術研究所 客員教授)

今回の内容は、いくつかの洪水の話とその特徴である。特に我々がいくつかのアジアの国の政府機関や大学と行ってきた共同研究の内容と将来におけるその成果の適用性についてである。

(スライド1)

洪水は、世界中に毎年大きな被害をもたらしているが、10年間(1987-1996)の国連のDHAのデータにおけるアジアの洪水の被害額は、全体の50%以上を占めている。それよりも大きな問題は、被災者(亡くなった人)の数が非常に多いことである。91年のバングラデシュの大洪水を除いても洪水で亡くなる人の50%以上がアジアから出ている。

その理由の1つは、熱帯地域の雨が一番多い場所で、洪水の数が非常に多いということがいえる。もう1つは、稲作に適している洪水氾濫地域に人口が集中していることである。

(スライド2)

洪水発生には様々なメカニズムがあるが、その中で内水の事例として1992年にcolomboで起きた洪水が挙げられ

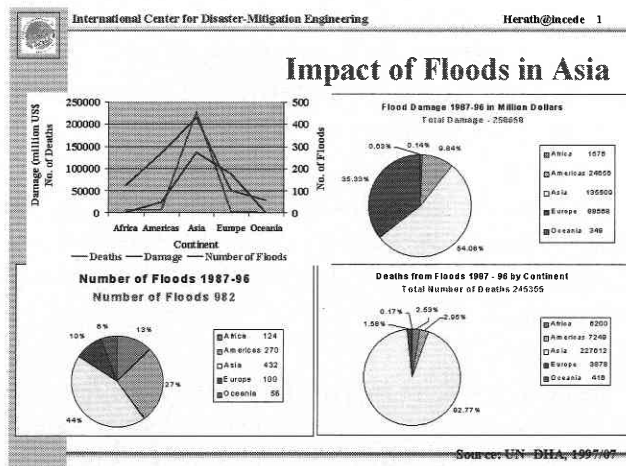
る。通常colomboでは川の氾濫により洪水が起こるが、92年4月、500mmの集中豪雨により、流出量が2,900万tに上った。この町の排水箇所は3カ所だが、川の氾濫の危惧から、川に通じる配水管出口が閉鎖されていた。残り2カ所の排水容量は、230万/日なので、排水に10日間を要した。

アジアでは、このような港町が急激に都市化してきて低い勾配の劣悪な排水状況が内水の危険性を生み出している。

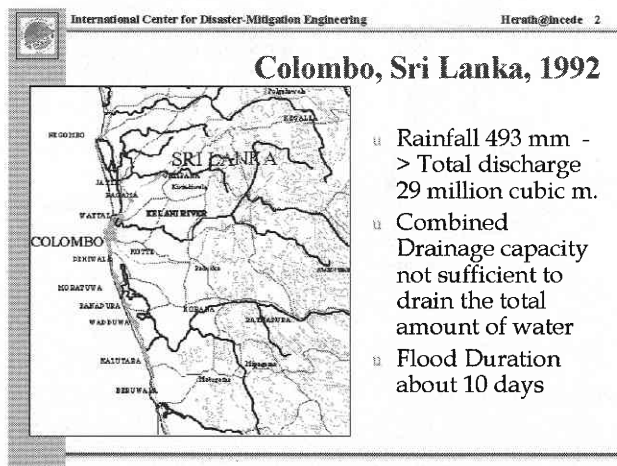
(スライド3)

もう一つは大雨がもたらす川の氾濫による大洪水である。99年にベトナム中部地方の50%ぐらいが大きい洪水に見まわれた。全ての水が引くまでに3ヶ月ほどかかった。その地域の山岳地帯では、集中豪雨による鉄砲水によりわずか2,3時間後に洪水を経験した町もあった。現地では話を聞くと、夜1時頃から急激に水位が上昇し、多くの人が家族と共にできるだけ高い場所に非難し、命拾いをした。しかし、50人位は命を落とした。

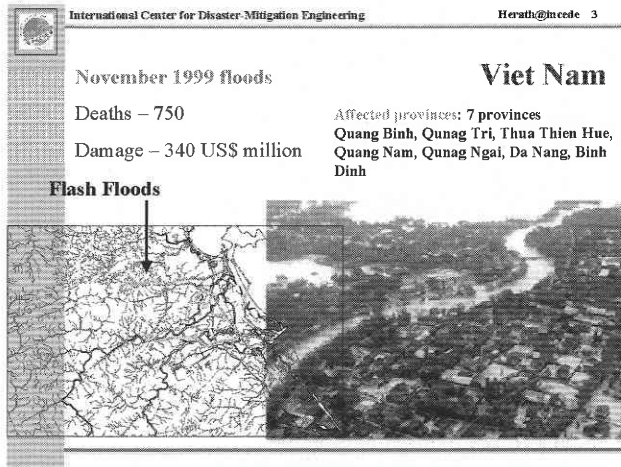
現在は、この経験を基に各家庭で迅速に避難できる場所を決めている。正しい情報の避難命令があれば、犠牲者を少なくすることができるのは明らかであることが分かった。



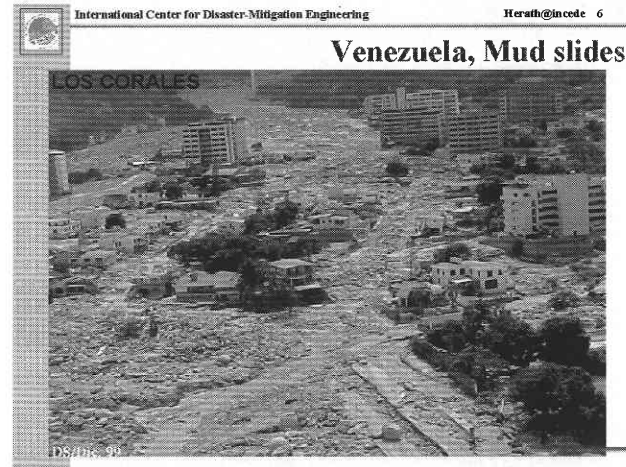
スライド1



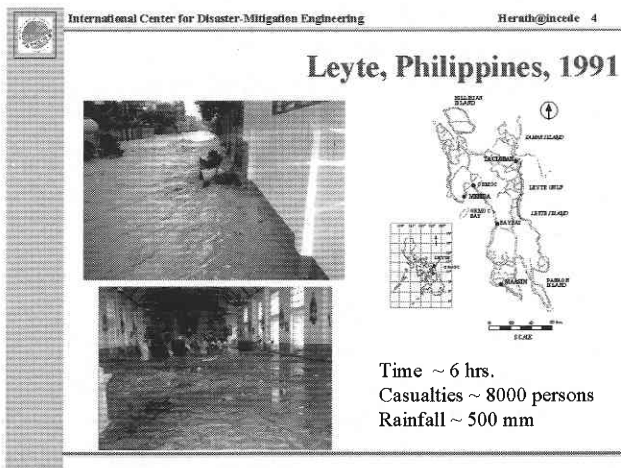
スライド2



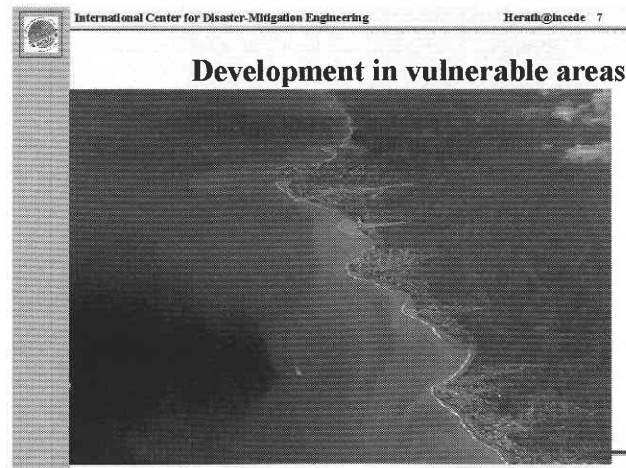
スライド 3



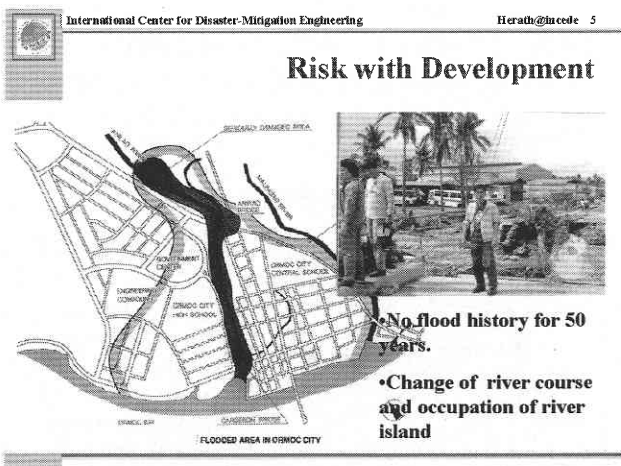
スライド 6



スライド 4



スライド 7



スライド 5

(スライド 4.5)

もう一つ、フィリピンのレイテ島第二の都市オルモクで6時間に約500 mm程度の雨が記録され、8,000人の被災者が発生した。降雨継続時間は6時間で、ピークは非常に短

い間に起こった。

ここを流れる川は町の近くで90度蛇行し、そこには橋が架っている。

しかし、昔は真っ直ぐに流れていたものと考えられる。結果的に橋が壊れ水が町に氾濫し、被害を拡大することになった。この町では過去50年間で1度洪水があっただけで、今回の洪水はたまたま台風が普段とは別のコースを通った事によって発生した。

(スライド 6)

Venezuelaで、1999年大きな土石流災害が発生した。50年前にも同様の災害が発生していたが、当時は現在のように開発が行われていなかった為、今回のような被害にはならなかった。

(スライド 7)

海岸の突出している場所は、以前同様の災害が発生していた場所で、最近ではその上にリゾート開発が行われ、様々な町づくりが行われている。土石流の発生要因となる降雨強度の強い雨が殆ど降らない為、土石流の危険性に対

策に対する関心が少なかったと言える。最終的な数字ではないが、2万人位の被災者が発生した災害であった。

(スライド8)

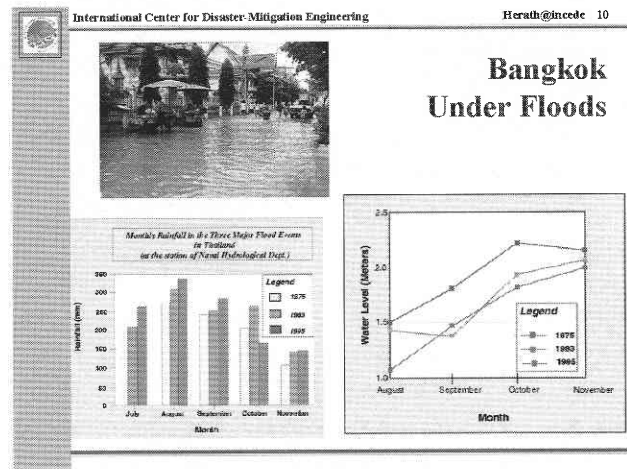
もう1つは、非常に大きい流域で発生する災害である。その1つの例は、パキスタン・インダス川で、92年に発生した水害である。ここは非常に大きな流域なため、2、3ヶ月かけて洪水が下流に到達し、大きな氾濫が発生した。(スライド9.10)

同じく1995年タイの洪水で、国土の約80%が浸水する大洪水が起きた。バンコクのチャオプラヤ川は、8～11月にかけて水位が徐々に上昇し、長期間にわたる洪水浸水にみまわれた。過去の水害を見ると、1975年、1983年、今回と、ほぼ似たような洪水が10年に1度の頻度で起きていることが分かる。

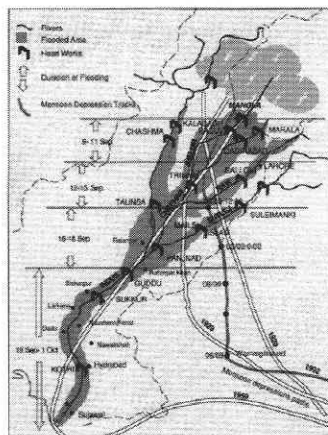
先程のパキスタンの洪水も20～30年に1度の頻度で発生しており、これより分かることは、大流域の洪水対策が経済的に非常に難しいため、十分な社会基盤整備が行われ明確な洪水削減には時間が必要である。その間には、モデ

リング、避難勧告等の対策をとることが必要である。(スライド11.12)

これは1996年、世界で発生した洪水分布を表す図で、丸は発生場所、数字は発生した月を示している。これを見



スライド10



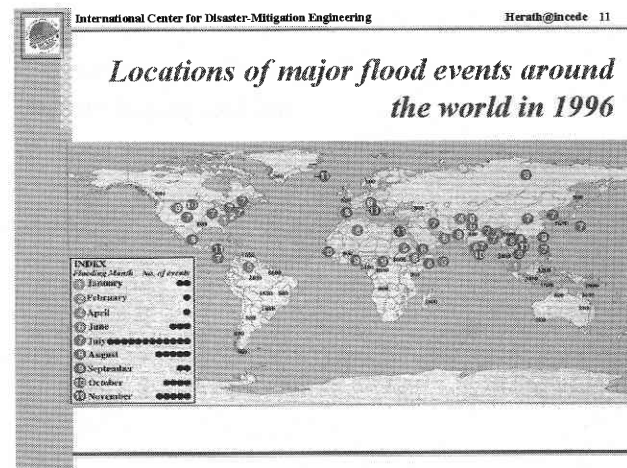
### Pakistan Floods

September - October 2, 1992

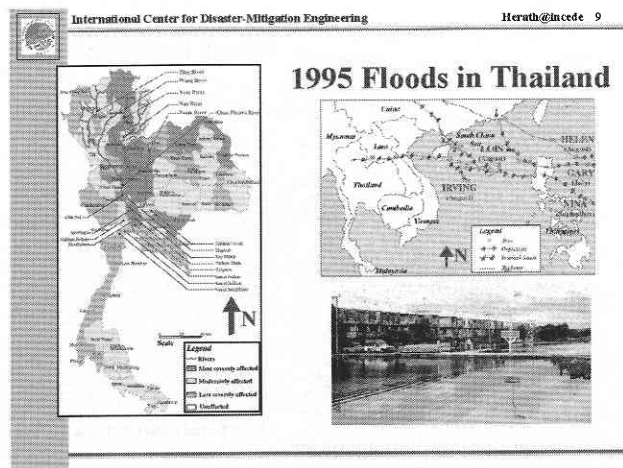
More than 2000 deaths

US\$ 2 billion Damage

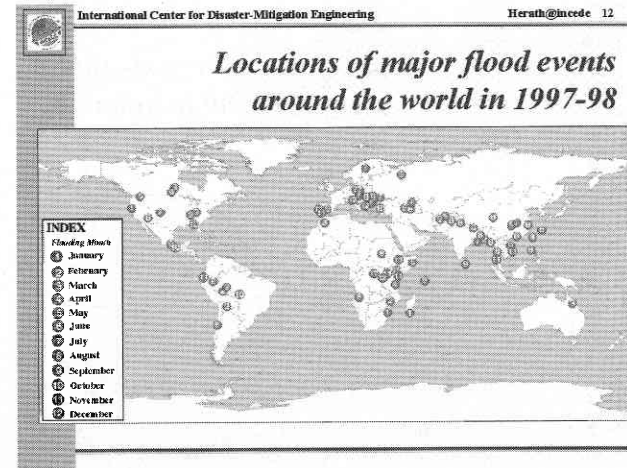
スライド8



スライド11



スライド9



スライド12

ると、特に7, 8月多く発生していることが分かる。さらに1997-98年の洪水も同様の地点で発生していることが分かる。

(スライド13)

国連のデータによると100万人以上住んでいる都市と、洪水発生場所が、アジアではよく重なっていることが分かる。

(スライド14)

50万人以上の方が住んでいる町を含めて見た場合でも、人口密度の大きい地域に洪水のリスクが大きいことが分かる。従って、アジアでは洪水対策が非常に大事であるということである。

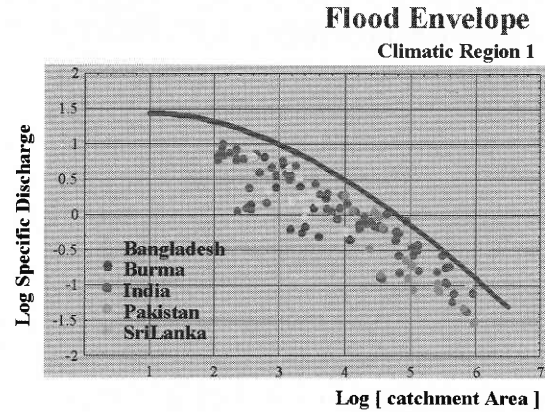
(スライド15)

国際機関(エスキップ等)と我々のところで集めた過去の最大比流量-流域面積の関係を地域ごとに作成した。例えば図14は、バングラデシュ、ミャンマー、インド、パキスタン、スリランカの最大比流量と流域面積の関係を示している。アジアでは、社会基盤の設計のための現地観測

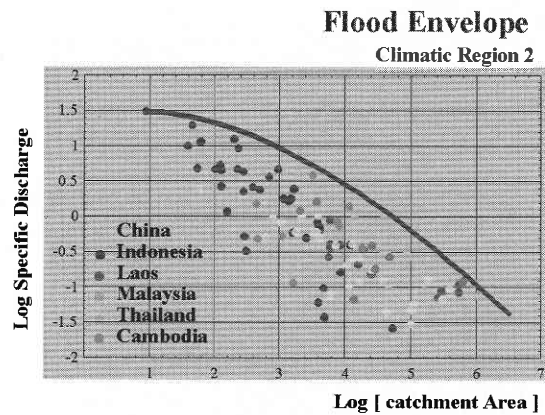
が非常に乏しいため、このような地域特性を利用して設計基準流量を求めることになる。

(スライド16, 17)

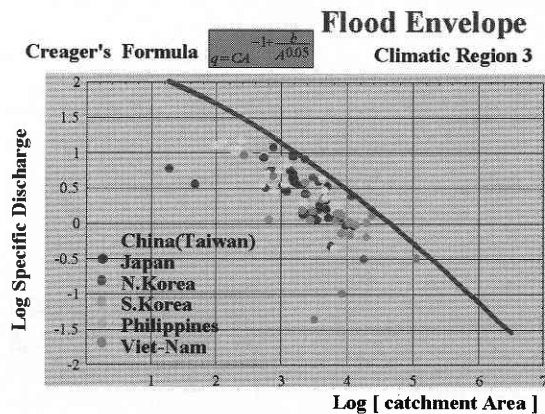
次の図15は、中国、インドネシア、ラオス、マレーシ



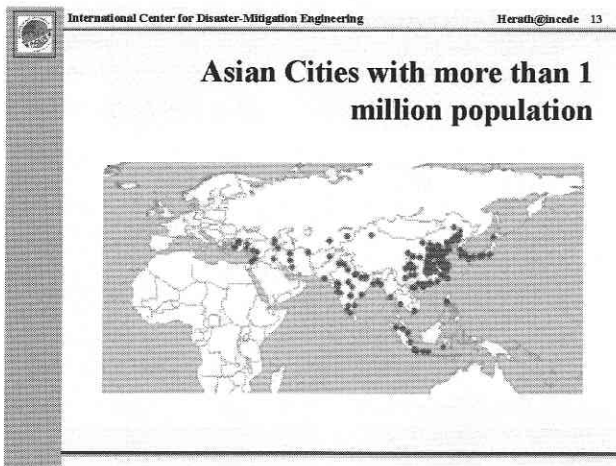
スライド 15



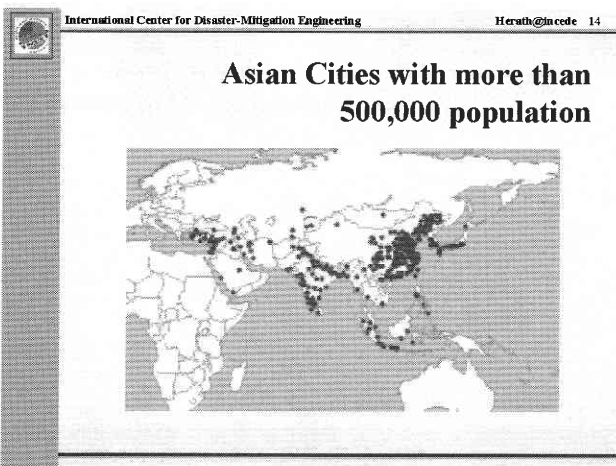
スライド 16



スライド 17



スライド 13



スライド 14



ア、タイ、カンボジアの同様の過去最大比流量－流域面積を表している。その次の図 16 は、台湾、日本、フィリピン、ベトナムの同様な図を表している。この 3 つの図を比較すると、最後の地域の 104 km<sup>2</sup> より小さい流域の比流量は、他の地域より大きいことが分かる。特に 100 km<sup>2</sup> のオーダーでは、流量が他の地域と比較すると 3～4 倍大きいことが分かる。

(スライド 18)

この様な一般化された情報は、ルーチン的な社会基盤設計に活用することができるが、流域対策・管理には不十分である。流域対策のためには洪水のプロセスをモデル化する必要がある。洪水の種類によって必要なモデルの種類も変わってくる。

1 つの例は、ここで示している通りで、表面流出、浸透、地下水、川の水のやり取りなどを考えた物理則に基づく分布型水循環モデルである。

(スライド 19)

これにより、洪水流出量の削減と共に地下水の涵養を行

うことができる。この技術を利用するには、浸透量の設計手法を確立する必要がある。過去 20 年間にわたり、日本で確立されてきた浸透量設計手法をアジアの他の国でも利用できるようにすることにより、環境にやさしい洪水軽減手法を多くの国に普及させることは重要なことである。

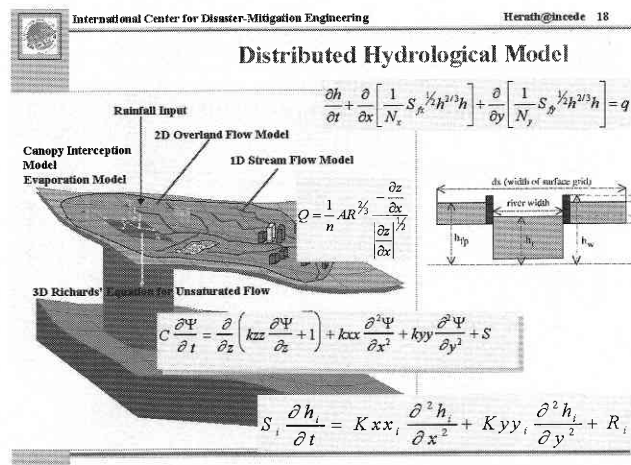
(スライド 20)

この図で示している昭島団地で浸透施設の効果についての実験が行われた。

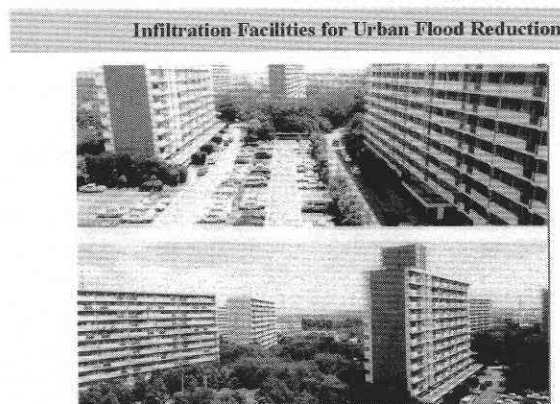
浸透施設を導入した 2 ha ほどの地域と普通の排水路網の 2 ha の地域を対象に比較観測が行われた。

(スライド 21)

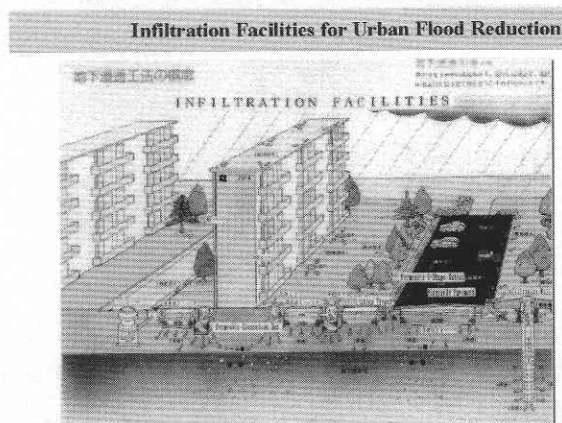
浸透施設を導入した地域と、導入していない地域で観測した 5 分単位の流出量をこの図は示している。図より、流出量のピークがカットされ、総量も約半分になることが分かる。図中、赤は計算を、青は観測を示している。この様にモデル化できるようになると、様々な確率降雨について流出量を計算することができる。逆に現状の河川の流出量を増加させないようにどのくらいの数の浸透施設を導入す



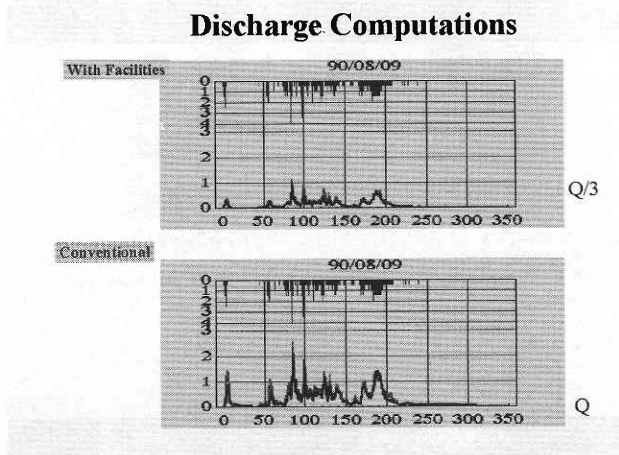
スライド 18



スライド 20



スライド 19



スライド 21

べきかということの設計が可能である。  
(スライド 22)

昭島団地の過去 20 年間の最大降雨を対象に流出量の削減効果をこの図は示している。

Q2 は浸透施設等の地域の流出量を, Q3 は浸透施設を導入していない地域の流出量を示している。この図から, 施設導入の効果により, 流出量を半分以下に削減できることが分かる。

(スライド 23)

都市の水循環を考えると, 雨から発生する水循環 (自然系水循環) だけでなく, 人間生活に使用されている水循環 (人工系水循環) を考える必要がある。

都市化による人口増加により, 給水量が増加する。更に, 経済の発展と共に, 1 人あたりの水使用量も増えてくる。

例えば, 日本では, 25 年間で水使用量は 2 倍になり, 現在東京近郊では, 流域外からの給水量は年間の降水量と同じ量になっている。アジアの他の地域でも, 類似の現象が起こることが予想される。特にアジアの巨大都市の排水

の管理に大きな負担がかかってくると思われる。家庭排水による汚濁負荷が増え, 水質の悪化が引き起こされる。

(スライド 24)

そこで, 浸透施設により地下水増加, ひいては河川の基底流量の増加により, 河川的环境改善が期待できる。

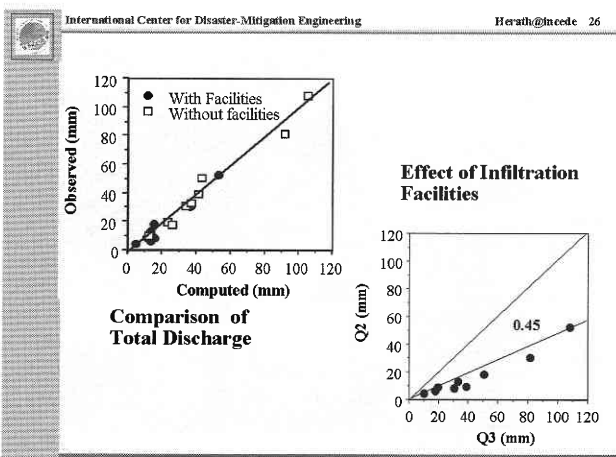
次の図は, 千葉県海老川流域の住宅地域の 10% の地域に浸透施設を導入した場合の基底流量の増加のシミュレーション結果を示している。

洪水予測では, ある時間の川の水位を予測するが, 実際の氾濫地域と川の水位の関係は明らかになっていない。

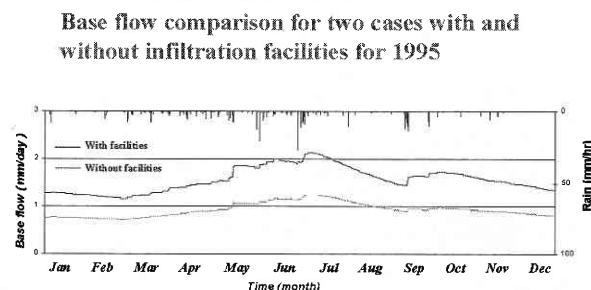
最近の空間情報とモデリングの発達により, 堤防を越えて氾濫する場合, 氾濫の場所と水深をシミュレーションすることができる。

(スライド 25)

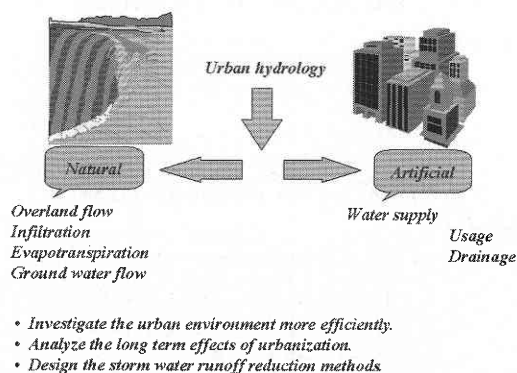
これは千葉県一宮で 1997 年に発生した洪水の様子をシミュレーションした結果である。次の課題として, 被害額の推定方法について話す。すべての洪水を防ぐことは不可能で, 被害額を最小に抑える必要が出てくる。



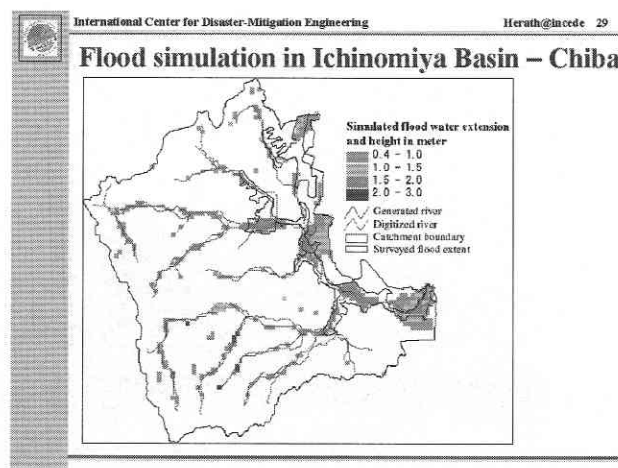
スライド 22



スライド 24



スライド 23



スライド 25

さらには対策によって被害額の削減を明確にすれば、対策に必要な事業費の妥当性が検討できる。

例として、氾濫させる場所を限定することができれば、ある洪水に対して被害がそこで発生することが分かる。その復旧の為に必要な資源を洪水に遭わなかった人々で負担すべきである。このようなことを実現するためには、洪水被害額シミュレーションが必要となってくる。

(スライド26)

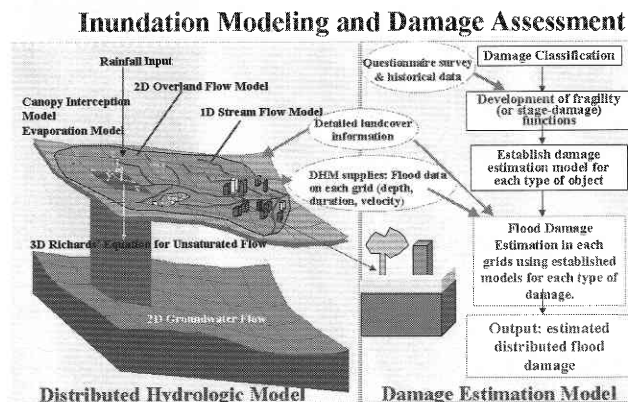
被害額の予測状況をこの図は示している。氾濫シミュレーションモデルで氾濫地域のグリッドごとに水深を求める。その水深で各グリッド内の資産に起こる被害額を与える。

(スライド27)

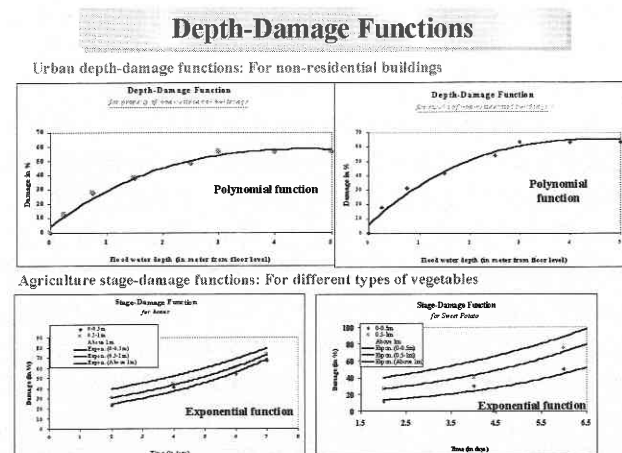
各資産種類ごとの水深と被害額の間を過去のデータから求める。いくつかの種類の被害状況をこの図は示している。

(スライド28)

氾濫地域と資産の分布、種類ごとの水深と被害額の関係



スライド26



スライド27

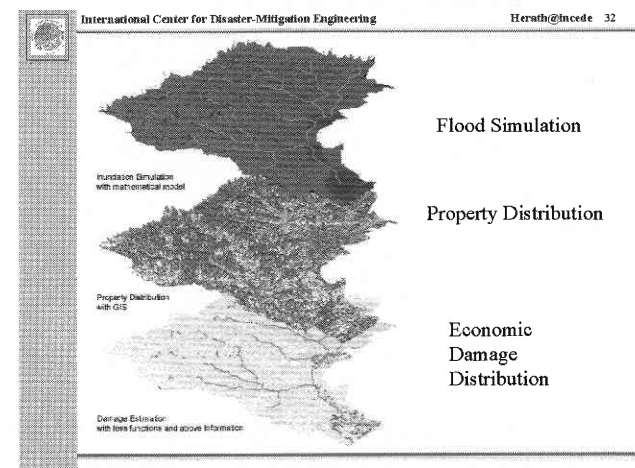
を重ね合わせることで、図のような被害額の分布が得られる。しかし、現在有用な空間情報の精度により、推定被害額に誤差が出てくることがありえる。この図では、3つの手法による被害額の推定結果を示している。1つは現地調査、2つ目は氾濫水深の観測を利用した、3つ目は数値計算によるシミュレーションである。この3つの方法間で最大で40%の差が生じている。水深と被害額の関係から見ると、1番大きい差は氾濫水深が小さい時、つまり小さい洪水の時発生することが分かる。

(スライド29)

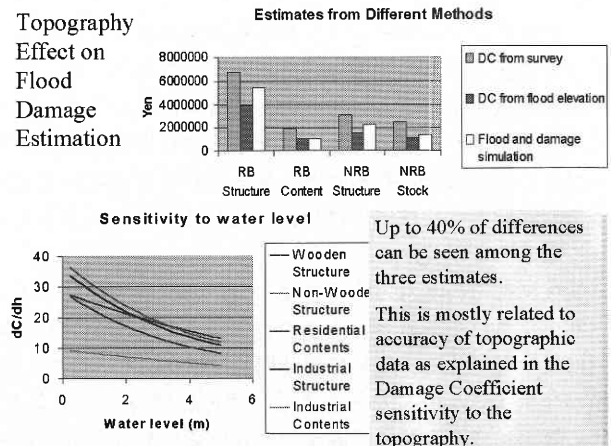
小さい洪水の被害額推定精度を上げるには、10 m オーダーの地形データの精度が必要になってくる。

(スライド30)

このようなシミュレーションにより、川の断面を大きくした場合、あるいは貯水池を作ったような汚水対策の効果を推定することができる。この図では、そのような対策により、都市域被害額、農村被害額、交通被害額の削減効果を示している。

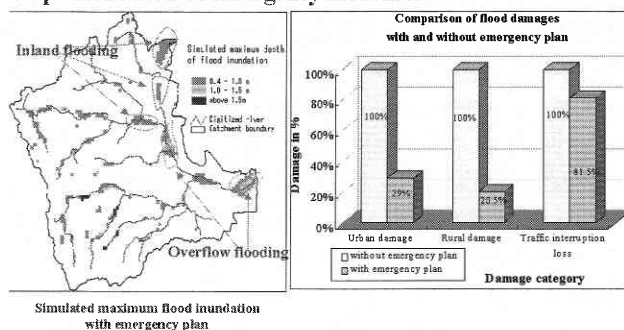


スライド28



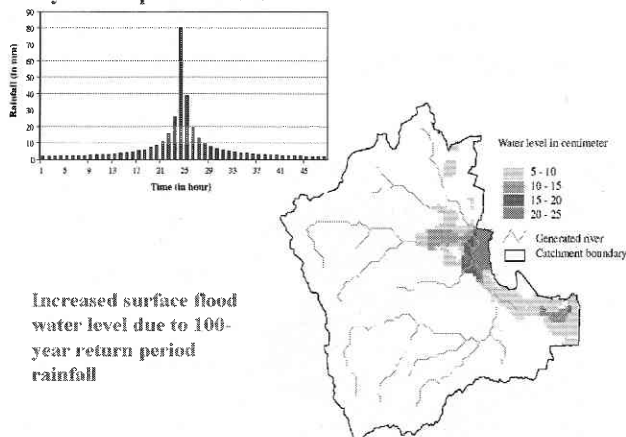
スライド29

### Scenario A: Impact of 1996 floods in the basin after implementation of emergency measures



スライド 30

### 100-yr return period rainfall



スライド 31

(スライド 31)

さらに、いろいろな生起確率に対する被害額も同様に計算することができる。図は100年に1度の生起確率の雨に対する氾濫地域を示している。

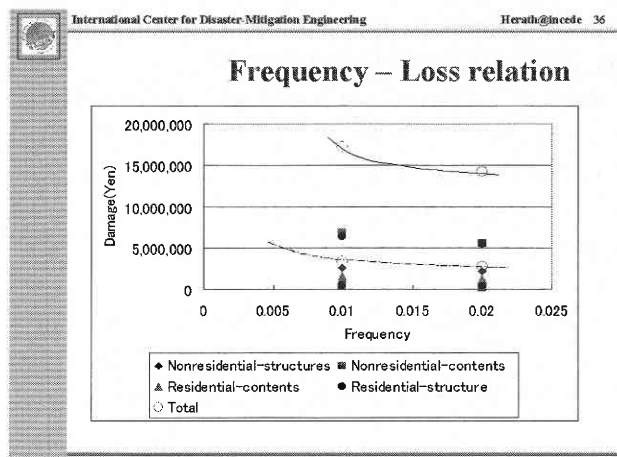
(スライド 32)

このようなシミュレーションから最終的にある地域についての被害額と頻度の関係を得ることができる。

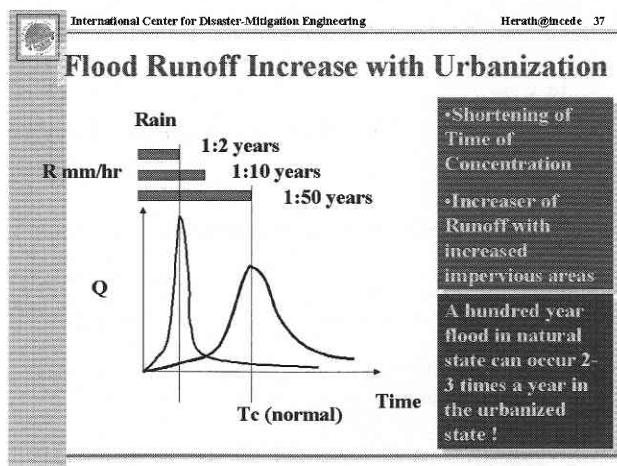
洪水対策をすることによって、被害額曲線が下がってくる。計算結果からカテゴリーごとの水害被害額の削減額が分かる。例えば、この例だと、ある洪水対策に対してビジネスの在庫と一般住宅の建物に対して被害額が大きく下がって来ることが分かる。

最後に都市の洪水と降雨強度について説明する。

都市化されてくると、排水の整備により流出が直ちに河川に集中してくる。従って短時間の雨でも、都市域では流出が発生するようになってくる。雨の確率分布を見ると、同じ降雨強度でも降雨時間が短ければ雨の頻度が高くなってくる。例えば、50 mm の降雨強度で2時間続けて降る雨



スライド 32



スライド 33

が50年に1回あるとすれば、同じ降雨強度で1時間降る雨が5年に1回起こる可能性がある。都市化によって流出率も大きくなり、洪水を起こす雨の頻度も増し、両方の作用により、自然の状態では100年に1度起こる可能性の洪水が都市化により年に2～3回発生する可能性が出てくることになる。

(スライド 33)

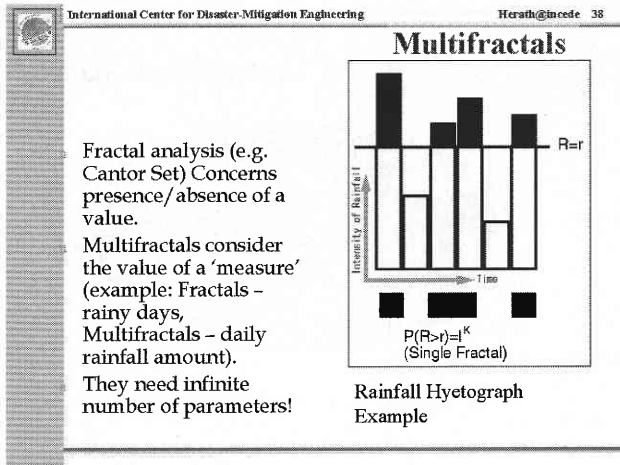
アジアの急激に都市化されていく大都市では、このように都市洪水の危険度が高いが、設計や予測に必要な高い解像度の雨のデータが殆どない。しかし、日単位の観測はどの都市でも行われている。そこで、日単位の雨の分布から、時間単位の雨の分布を計算することを研究してきた。

(スライド 34)

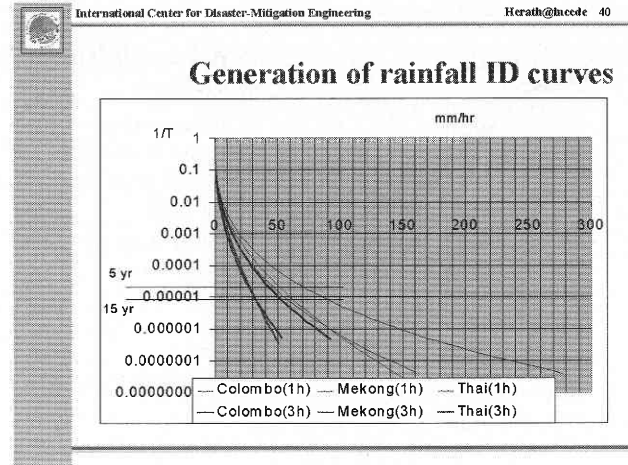
このために、フラクタルという概念を利用し、短時間スケールの現象と長時間スケールの現象間の関係を見出す。

雨の場合、このスケールは降雨時間となる。降雨強度によってこの関係も変わってくるので、いろいろな降雨強度

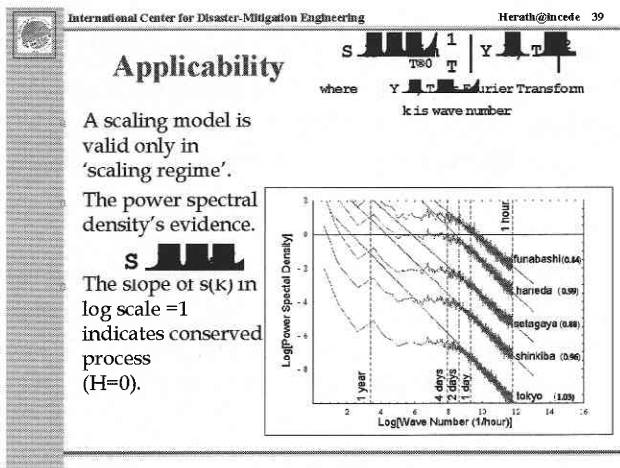




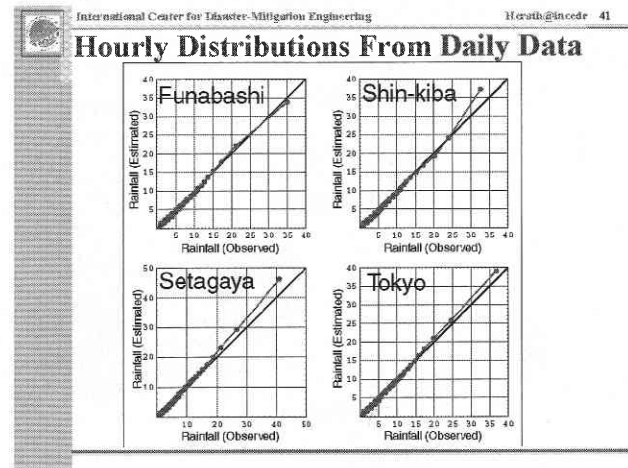
スライド 34



スライド 36



スライド 35



スライド 37

で同じような関係を見出す必要がある。マルチフラクタルという手法を用いると、この現象を単純化したモデルで表すことができる。

(スライド 35)

日本では高解像度の降雨データが多くあるので、この手法の開発にそのデータを使用した。この図では、日本の雨の特徴として1時間から2日くらいの間のスケーリングができるということが分かる。

(スライド 36)

いくつかの観測点での時間雨量の観測と1日雨量データからの予測の比較をこの図で示している。この図より、高解像度の降雨予測を高精度でできることが分かる。

(スライド 37)

マルチフラクタルのモデリングによるスケールに依存しない確率密度分布が得られるので、その情報からいろいろな降雨継続時間の確率分布が得られる。図は日単位のデータを対象として計算した1時間降雨継続時間の確率分布と3時間の降雨継続時間の確率分布を示している。

対象地域は、タイ・チャオプラヤ川、カンボジア・メコン川、スリランカ、コロンボである。妥当な結果が得られているので、アジアのデータが不十分なほかの地域でも同様の手法が適用できると考えられる。

(スライド 38)

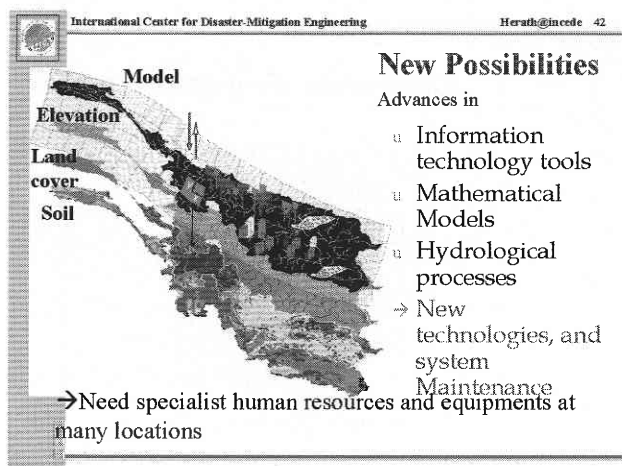
今までの話をまとめると、最近のRS、GISなどの空間情報の発達とシミュレーションモデリングの発達により、洪水に対する各種問題の解析を基にその対策をとれるようになってきた。しかし、今現在、こういう手法適用のための技術・資源・人材が集まっているところはあまり多くない。

逆に洪水は各流域ごとの問題であり、流域ごとに解決すべきことである。限られた資源で多くの要求に答えるには、資源の共有が必要である。

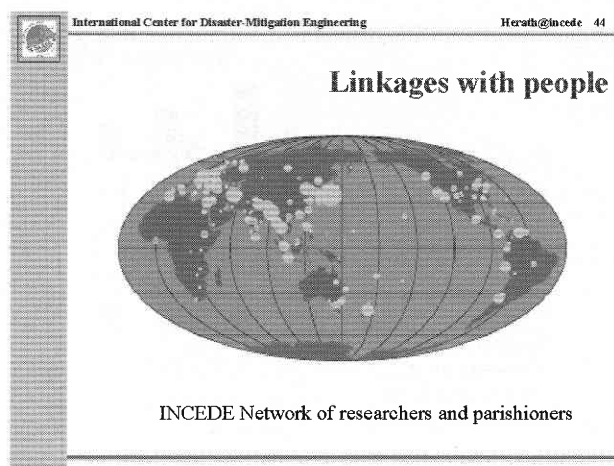
(スライド 39)

最近のインターネットの発達により資源の共有が可能になり、効率的な洪水予測・解析が可能となってきた。

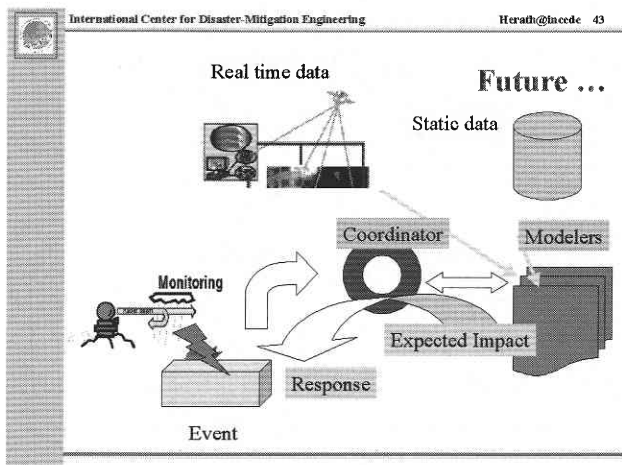
その枠組みをこの図は示している。



スライド 38



スライド 40



スライド 39

ある洪水が発生した場合、ネットワークを利用し、コーディネーターを通して実時間データ観測機関、基盤情報の管理機関、シミュレーションモデルによる予測機関の協力により、現地の現象の予測と対策のアドバイスが可能になってくる。

(スライド 40)

このようなシステムの実現には、研究機関あるいは政府機関、現地で直接災害軽減に関わっている災害管理者との間に信頼性のある協力ネットワークが必要となってくる。

この図では、災害軽減のため、INCEDE が作成してきたネットワークの分布を示している。

今後、アジアの特に発展途上国の洪水災害軽減のため様々な問題に立ち向かい、その解決の為、洪水分野の新しい発展、特に空間情報とモデリングの発展に大きな期待がされている。

—了—