


■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

***** : 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC : 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

 : パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし : 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 UTokyo OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2014, 福士謙介

The University of Tokyo / UTokyo OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2014, Kensuke Fukushi

都市の物質とエネルギー代謝の視点から ～都市活動と環境負荷のジレンマ～

福士謙介

東京大学国際高等研究所

サステイナビリティ学連携研究機構・教授

本日の講義の内容

本日の講義は講師の交代により若干内容を変えて行います。当初、都市における物質とエネルギー、そして環境負荷のジレンマに関する講義でしたが、都市のサステナビリティの中で重要なリスクとそのマネジメントに関する講義を行います。とくに、感染症と都市の発展、水とのつきあい方のジレンマに関して途上国を舞台として考察しましょう。

リスクの基礎

リスクの考え方

自然科学的リスク: エンドポイントが起こりうる確率

- (エンドポイント: どうしても避けたいこと・・・死、感染、発ガン、事故など・・・発ガンリスク、死亡リスク)

社会科学的リスク: エンドポイントが起こりうる確率とその重大さの積
(社会科学における一般的な定義)

- 「重大さ」が曖昧である。水俣病とイタイイタイ病ではどっちが「重大」なのか？風邪と腹痛では？イッキに定量性が無くなる

10万人に一件(年間)(10^{-5} 、10万人に一人)程度の死亡であれば許容するという考え(USEPA(米国環境保護庁)が提言し、多くの場合この値を採用)

社会生活上の様々なリスク

- 自然災害
- 都市災害
- 労働災害
- 食品添加物・医薬品
- 感染症
- 化学物質
- 放射線
- 廃棄物
- 社会経済変動
- 人間関係・学校関係
- 投資リスク・保険・…………

百万分の一のリスクと等価の行為 (生涯リスク)

行為	リスクの性質
・タバコ1. 4本を吸う	・ガン、心臓病
・ワイン0. 5リットルを飲む	・肝硬変
・炭坑で1時間過ごす	・事故
・ニューヨークかボストンで2日間過ごす	・大気汚染
・タクシーに6分乗る	・事故
・自転車で10マイル運転する	・事故
・自動車で30マイル運転する	・事故
・旅客機に1000マイル乗る	・事故
・胸部X線撮影1回	・放射線によるガン
・喫煙者と2ヶ月暮らす	・癌、心臓病
・小さじ40杯のピーナッツバターを食べる	・B1アフラトキシンB1による肝臓癌
・強い塩素消毒をかけた水を1年間飲み続ける	・クロロフォルムによる癌
・ダイエットソーダを1缶飲む	・サッカリンによる癌
・原発の敷地境界で5年暮らす	・放射能による癌
・原発の20マイル以内に150年間暮らす	・放射能による癌

リスクの計算例

たばこを1本吸うとどれだけ寿命が縮まるか？

- たばこ1. 4本を吸うと100万分の1だけ肺ガンで死亡する生涯リスクをあげる(=71万分の1/本)
- 基準の寿命は100年とする(吸わない場合は100年生きるとする)
- 21歳から死ぬまで吸うこととする
- 1年間で上昇する死亡リスクは:

$$r_{year} = (n-20)m \times 710,000^{-1}$$

where, n: life time, year, m: yearly # of cigarette

- 元々100年間生きるとしたら、縮まる寿命は:

$$100 \times r_{year} \text{ となる}$$

たばこと寿命：例

1日本数	年間本数	寿命
0	0	100
5	1,825	84
10	3,650	73
15	5,475	65
20	7,300	59
30	10,950	51
40	14,600	46
50	18,250	42
60	21,900	40
70	25,550	37
80	29,200	36
90	32,850	34
100	36,500	33

リスクの認知

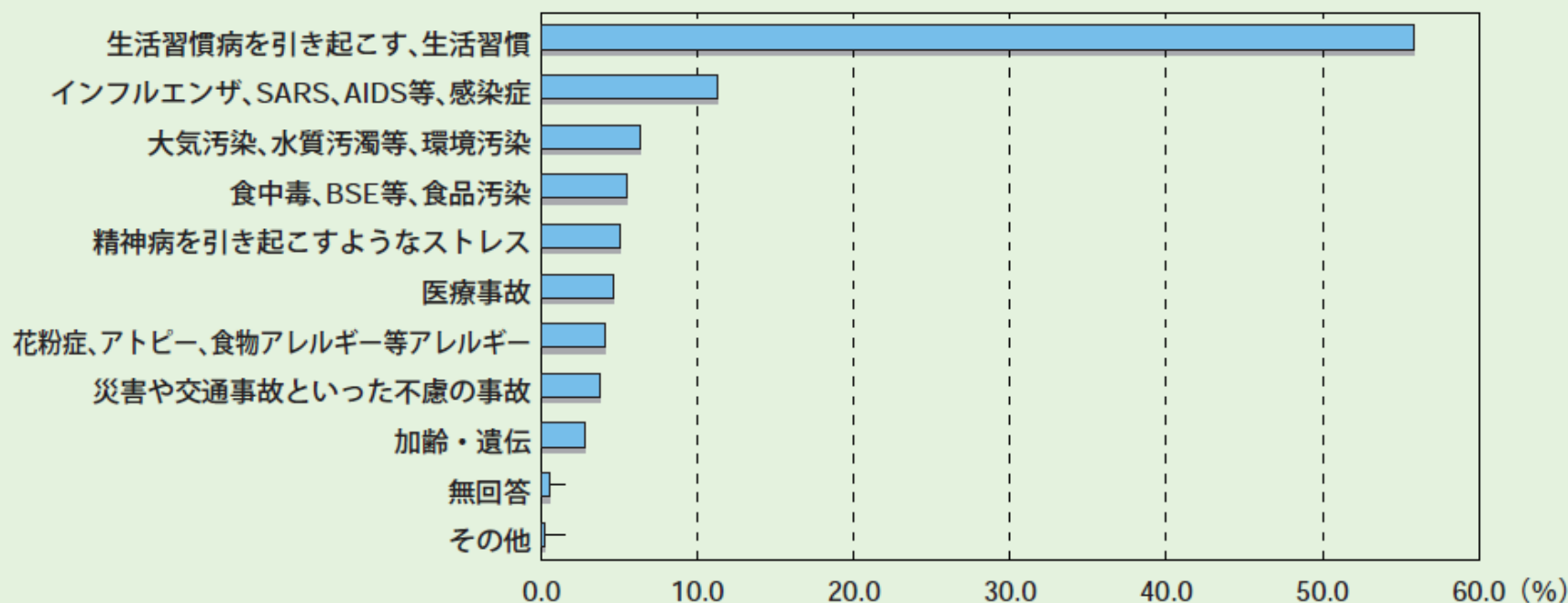
心理学的なリスク

科学的・統計学的に求められたリスクはリスクを正確に判断し、リスクトレードオフやリスク・コストの関係、リスク・ベネフィットの関係を正確にとらえるが、それが人間の行動選択と同じとなるかはわからない。

心理学的なリスクは普遍的な定量性を有さないが、その傾向は把握することができる。

リスクが高いと感じるもの

図表序-11 健康リスクが一番高いと感じるもの



資料：（株）UFJ総合研究所「生活と健康リスクに関する意識調査」（厚生労働省委託 2004年）

* 平成16年版 厚生労働白書『現代生活を取り巻く健康リスク—情報と

協働でつくる安全と安心—』p.12 図表序-11

<http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/04/>

アメリカの牛肉の話

クロイツフェルトヤコブ病はBSE(牛海綿状脳症)に感染した牛肉の特定の部位を食べると感染すると言われている

アメリカの検査態勢(0.1%検査):100年食べ続けて一人以下の発症

日本の牛肉:全頭検査すると、6万年で1名、無検査・危険部位削除無しでも300年に1名程度

- BSE陽性率(100万頭あたり):英国:2738、ポルトガル:1046、スペイン:247、ベルギー:93、フランス:75、イタリア:50、ドイツ:35、アメリカ:17、日本:3.3

通常のコブ病:年間100万人に一人(世界同率)

ただし、通常のコブ病は高齢者がかかる例が多く、変異型は1年程度で死んでしまう。

感情的な意見と科学的な意見の対立・両方正しい

リスクに対する印象(考え方)に影響を与えるもの

マスコミ(テレビ、ラジオ、新聞など)の影響

能動的リスクと受動的リスク

- 車の使用:日常生活において最も高いリスクのひとつであるがそれを人間はやめない。その他、バンジージャンプ、喫煙など。
- 受動的リスク(または事象)には人々は敏感である。副流煙、ヘッドホンからの音漏れ、体臭、廃棄物処分場、原発、酸性雨など。

リスクに対する感覚に影響を与える物

リスクを低める要因

能動的

よく知っている

自分が管理している

長期的

自然発生的

公平

顕在的

注目度が低い

リスクを高める要因

受動的

あまり知らない

他人が管理している

短期的

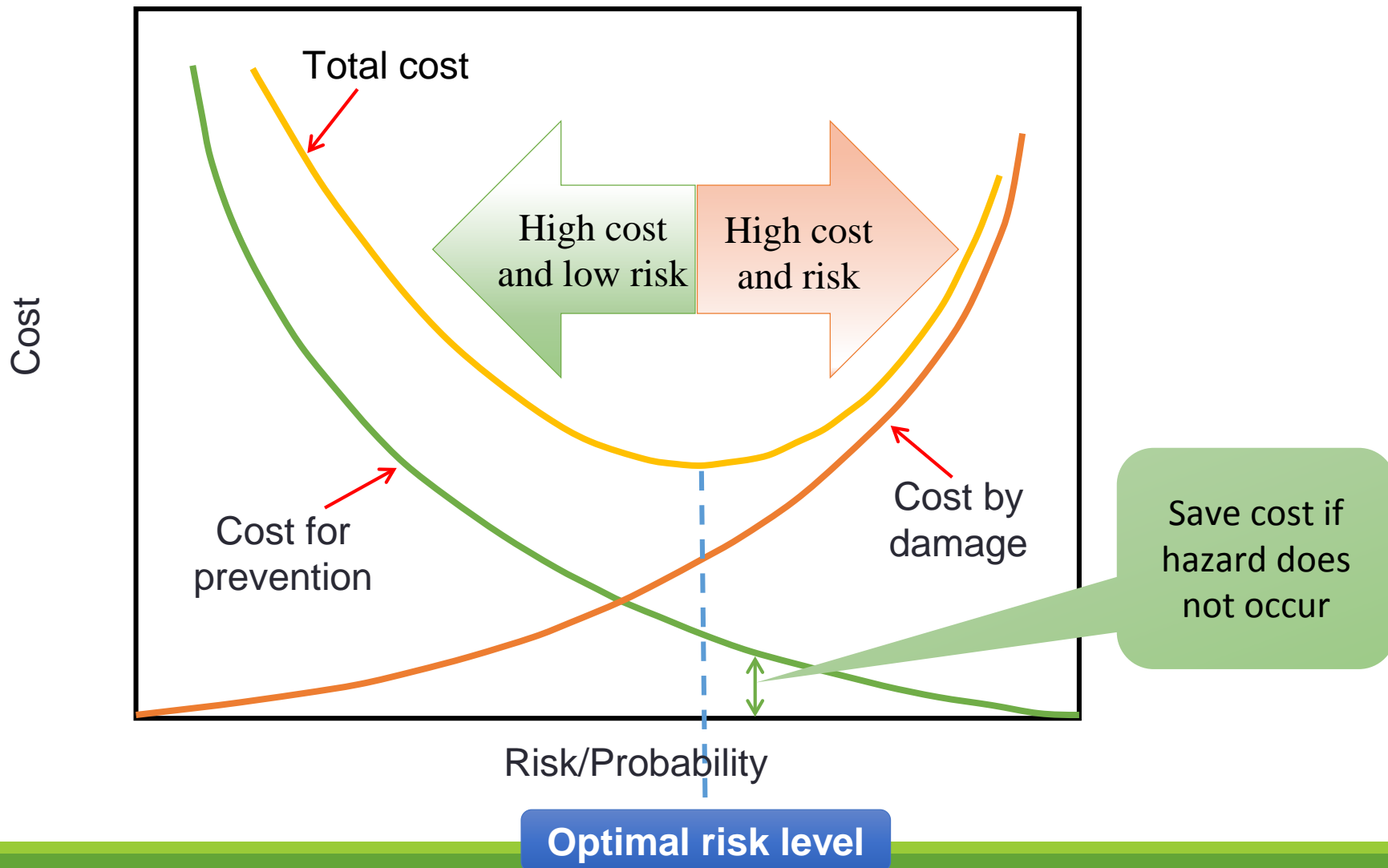
人工的

不公平

潜在的

注目度が高い

リスクによる損害とその低減にかかる費用



心理学的リスクと心理学的 便益

技術や行為	心理学的リスク	心理学的便益
核兵器	78	27
ピストル	76	27
農薬	71	38
国防	61	58
アルコール飲料	57	49
車	55	76
アスベスト	51	51
手術(医療)	48	64
化粧品	20	49
太陽エネルギー	12	56

リスクのトレードオフ

- 飲料水中の病原微生物と消毒副生成物
 - 病原微生物vs.トリハロメタン
 - ペルーにおけるセビーチェ経由のコレラ感染

リスクの結果を総合的に見る必要性:ある失敗例

- ペルー政府で消毒副生成物の発ガン性に関する報告を元に水道水の消毒(塩素)を中止
- 中国の貨物船のバラスト水にコレラ菌が混入
- コレラ菌が魚介類に付着
- セヴィチェ(生魚介類のレモン汁あえ)を食べた人間が感染
- 感染者の糞便が飲料水に混入
- 大きなアウトブレイクが起こった
- 最終的感染者:80万人、死亡者7千人(1991年)



Image by David Katarina, from Flickr
(ref. 2015/05/01)

<https://flic.kr/p/fF9x1>

CC BY 2.0

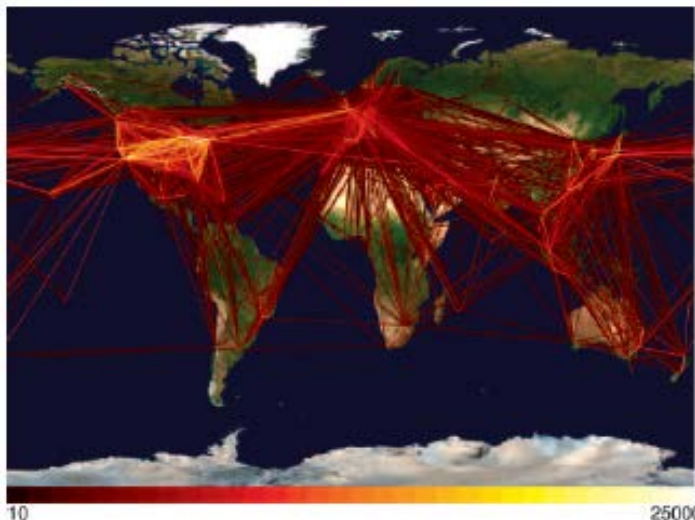
感染症

食べ物、空気、水、接触、ベクター（昆虫など）

コレラ、チフス、赤痢、ノロ（食べ物・水・接触）、インフルエンザ（空気）、トラコーマ（水・接触）

病原微生物（病原菌）の最も居心地が良いところ・・・人間の体内・・・体内で増殖

*



- 感染の経路の多様化

- グローバル交通
- 食の多様化
- 高寿命化、、、等々

Image credit: Lars Hufnagel et al (2004) Forecast and control of epidemics in a globalized world, *PNAS*, vol.101(no.42):15124-15129, p.15125 Fig.1.

Copyright © 2004, The National Academy of Sciences.

途上国の衛生問題（旅行者として）

食あたり、水あたり

- 基本的には感染症・・・元々は他人の糞便

感染経路

- 多すぎて特定は不可能

対応策

- 日本の医者ではわからないことが多い

マラリアなどは衛生状態とは関係がない

途上国の衛生問題（住民として）

大きな経済的発展の障害

- 死亡、特に幼児の死亡
- 様々な投資の非効率化
- 観光客の障害

水系感染症に限れば、やはり、水道、下水道の整備が絶大な効果

江戸時代の玉川上水（人口密度9万人/平方キロを支える）





ベトナム・メコンデルタ地域

- 低い衛生レベル
- 低い教育レベルによる感染症に関する無知
- 薬や医療機関へのアクセシビリティの低さ

- 気候変動: 異常気象減少の増加
- 急速な都市化による都市洪水の増加
- ポンプによる雨水排水設備が少ない
- 多くのアジアの都市は低地に位置している

病原微生物

セプティックタンク



都市洪水



- 都市がコンクリート被覆される事による、大量の雨水による洪水

- 河川からの水の氾濫による洪水

2009年のベトナム・フエ市における洪水

洪水への対応と経済発展のジレンマ

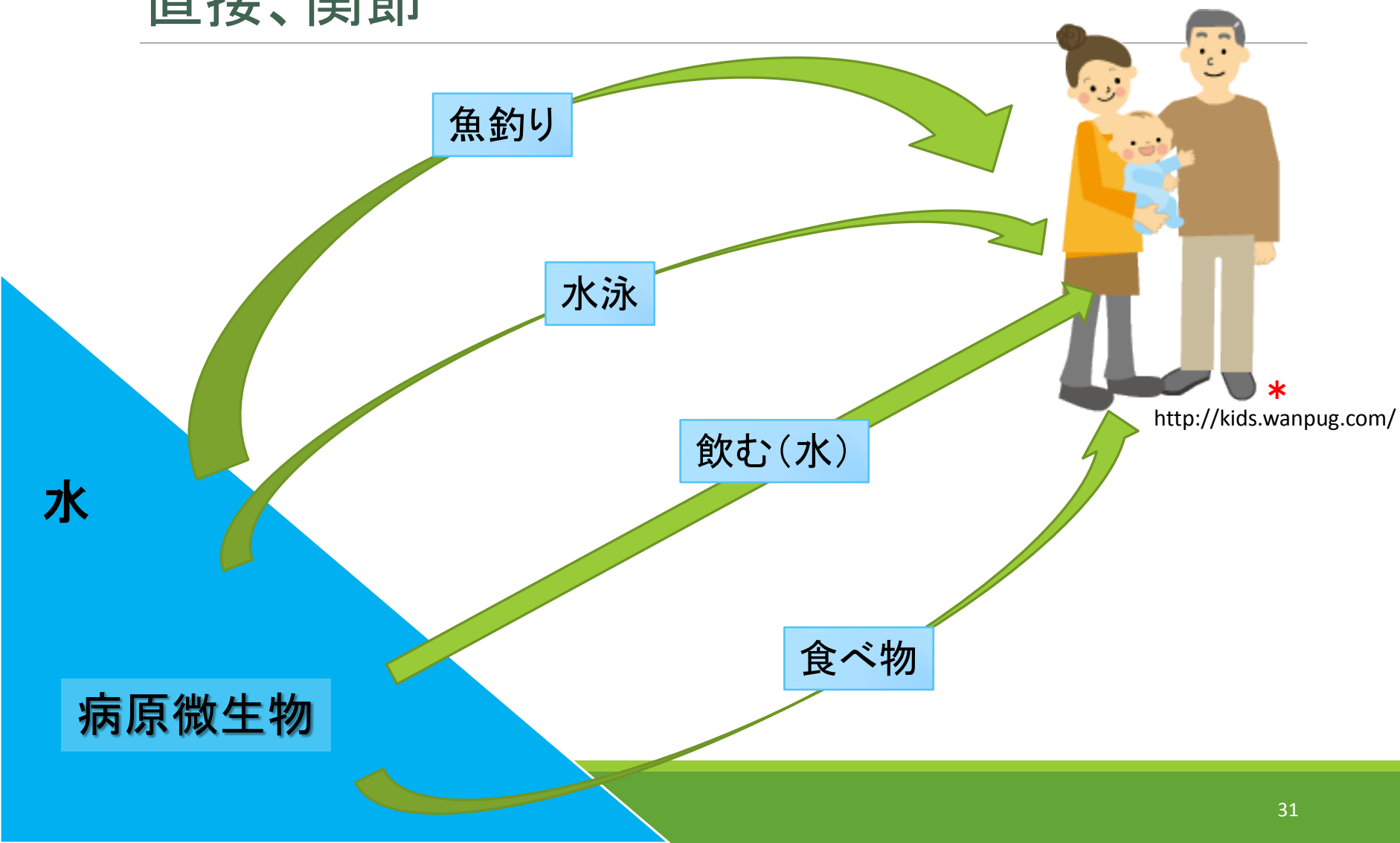
- 頻繁な洪水＞大きな富の蓄積が起こらない
- 洪水を制御＞氾濫地における富の蓄積が起こる。通常地域におけるさらなる富の蓄積が起こる。
- 大規模な洪水が起こる＞大規模な富（人命を含む）の破壊が起こる
- 経済発展の障壁になっていることは明らか

健康リスクアセスメント

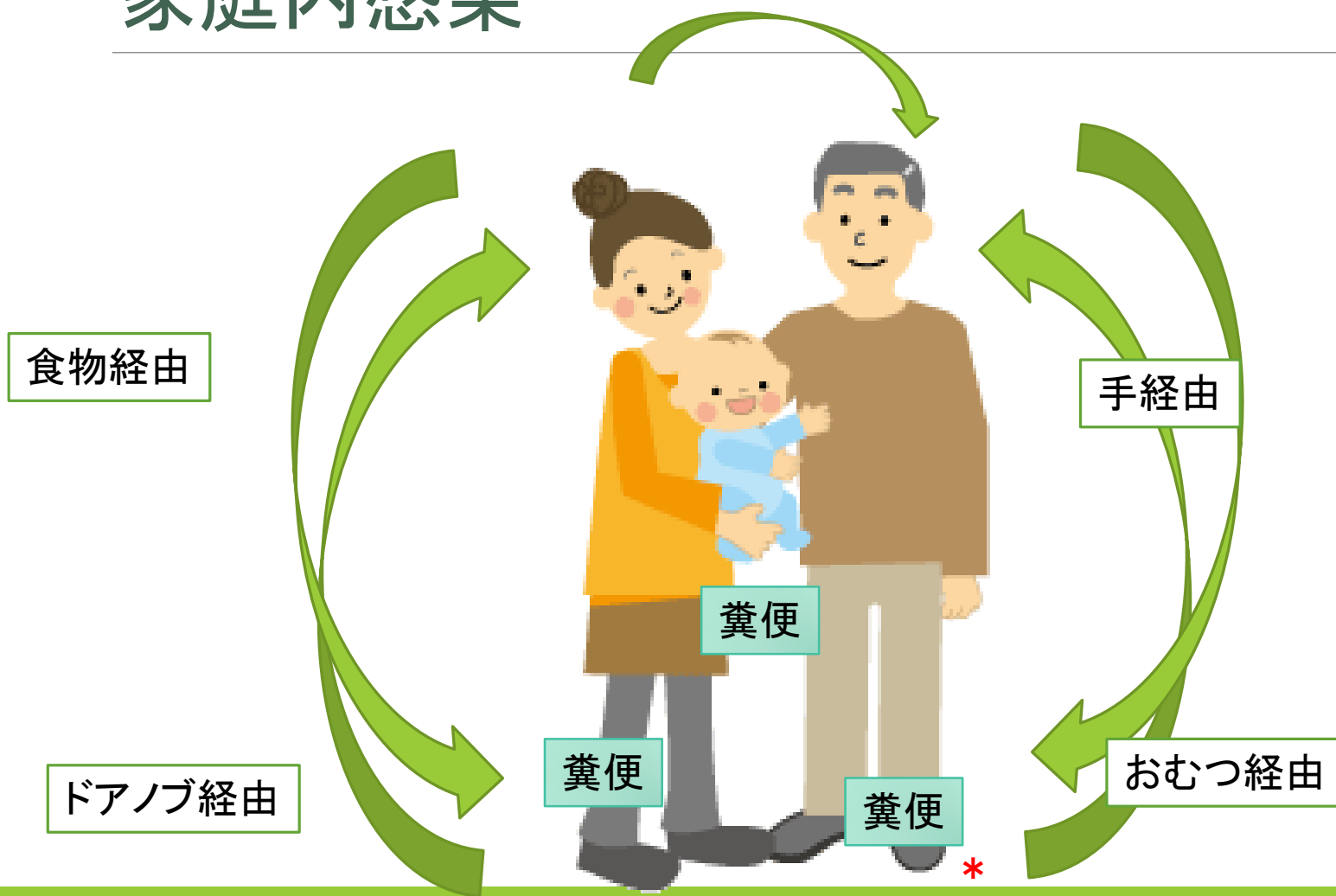
- いったい何人の患者がでる可能性があるのか？
 - どのくらい水が汚れているの？
 - どの汚れた水に誰がどの程度の時間接しているの？
 - その頻度は？
 - もし、その汚れた水を摂取しているとしたら、どのくらいの確率で感染するの？
 - もし感染したら、どの程度の確率で発症するの？
 - もし、発症したら、どの程度、どのくらいの時間苦しむの？ 後遺症は残るの？ 死ぬの？

感染経路

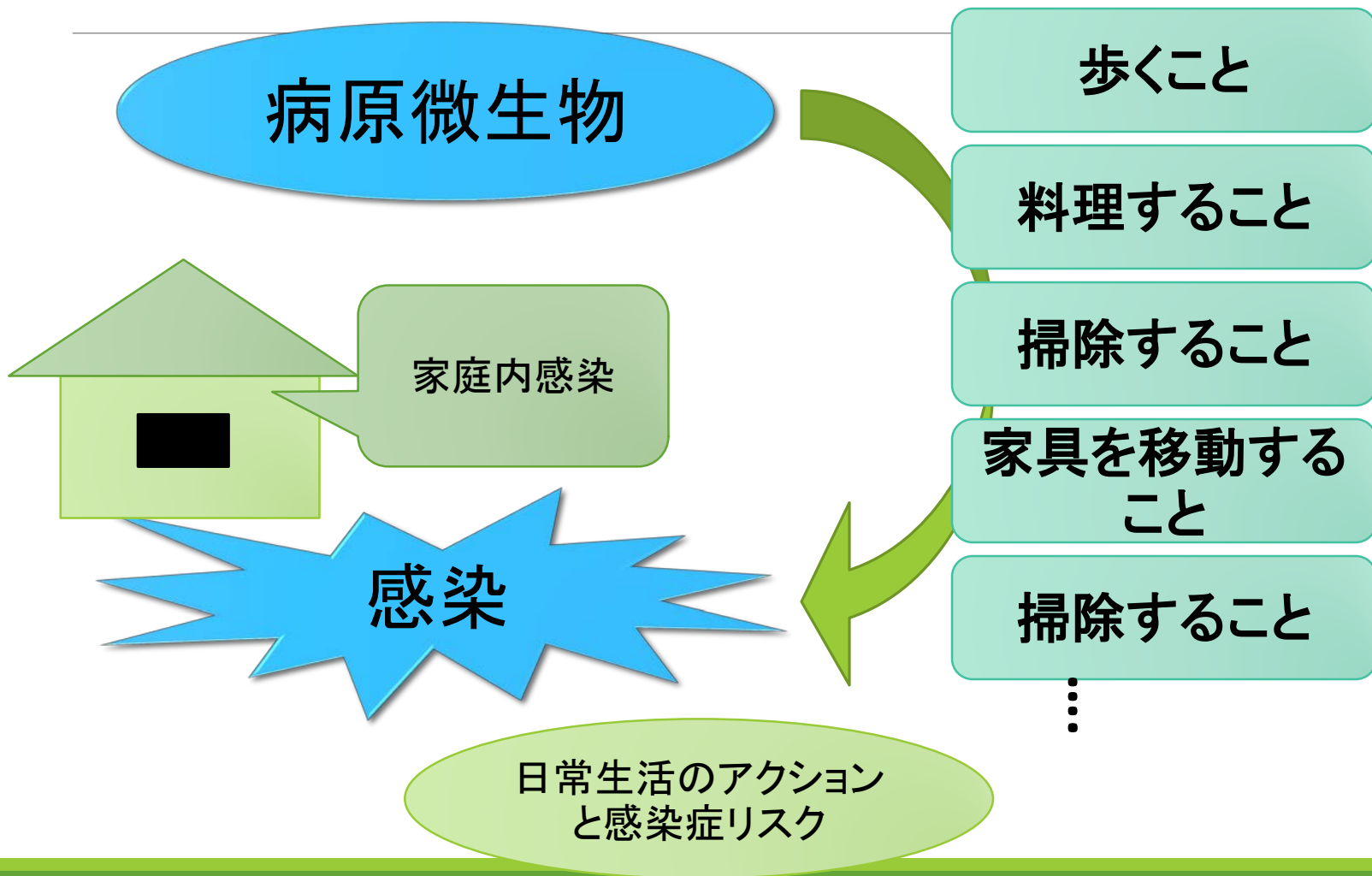
直接、関節



感染経路 家庭内感染



洪水による感染



著作権等の都合により、
ここに挿入されていた写真を削除しました。

洪水の写真(ベトナム・フエ)

- ・料理している様子
- ・家具を運ぶ様子
- ・街の様子

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた写真を削除しました。

洪水の写真(ベトナム・フエ)

子供たちが洪水の中で遊んでいる様子

現在の水系感染症モデルのレベル

現在は洪水中的の水がどれだけ感染リスクが高いかを予測できるモデルはない

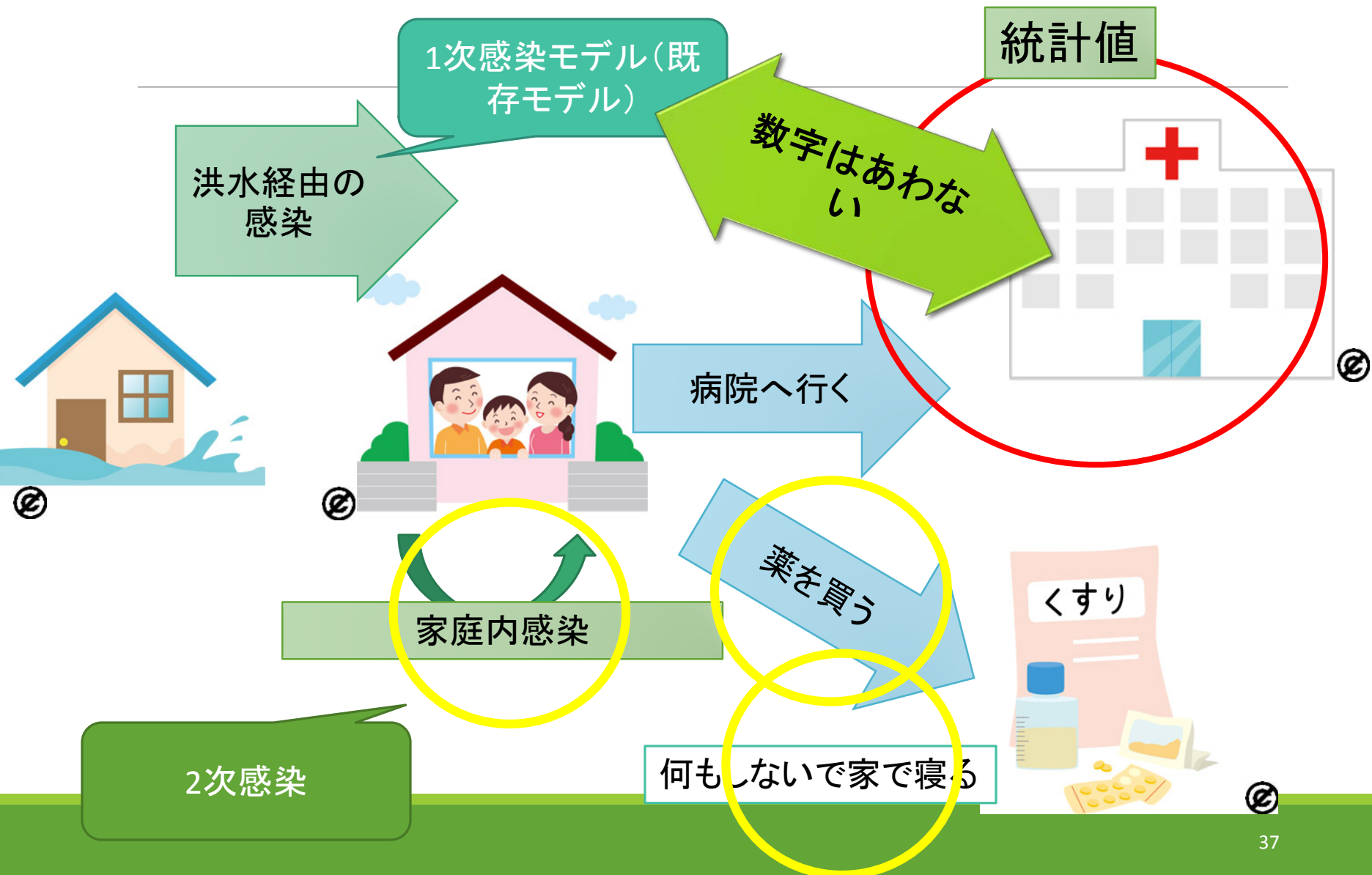
ましてや、ある洪水のイベントに対応する感染者を予測可能なモデルは存在しない

水>ヒトへの感染モデルはある程度開発されている

ヒト>ヒト(二次感染)のモデル開発は限定的である。

気候変動(洪水)に対応する都市設計も健康リスクの観点から行うことはできない

そもそも統計値と現在開発されている モデル結果とは整合しない



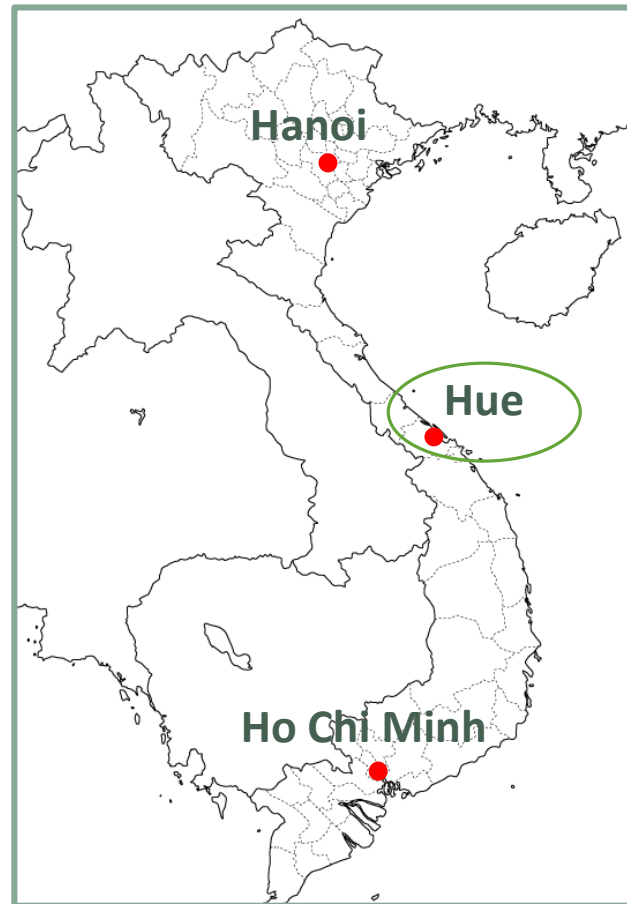
実際の都市における 感染症予測モデル

ベトナム・フエ市



ベトナム・フエ市

- ゲエン朝の首都
- ベトナム戦争の激戦区
- フエ王宮の建造物群がユネスコの世界遺産
- ベトナムの一級都市
- 山を背後に控え、海に近い
- ダムと下水処理場を建設中
- 毎年、数日洪水がある(台風)



<http://www.freemap.jp/item/asia/vietnam.html>を元に作成

ベトナム・フエ市における調査

- 下水処理場はない
- 多くの遊水池（池や湖）
- 雨水の排水が不完全



下水排水口

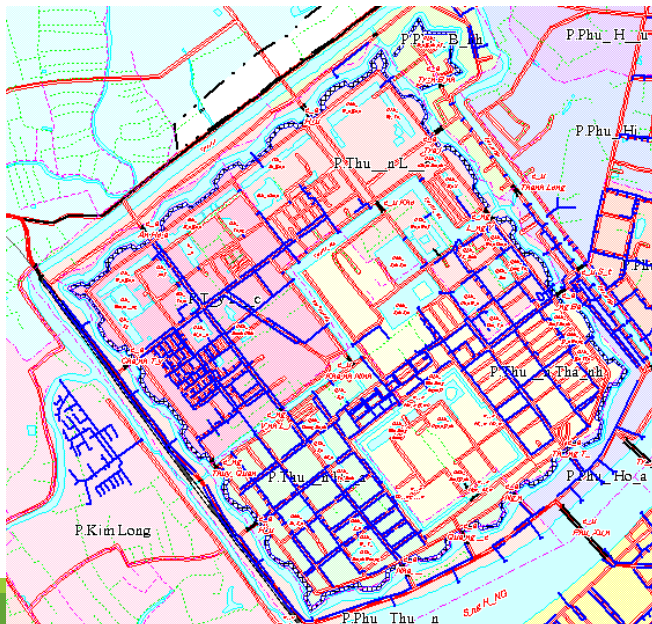


雨水排除設備がない地域



空心菜の栽培

→ 洪水はゆっくり来て、比較的長い間滞在



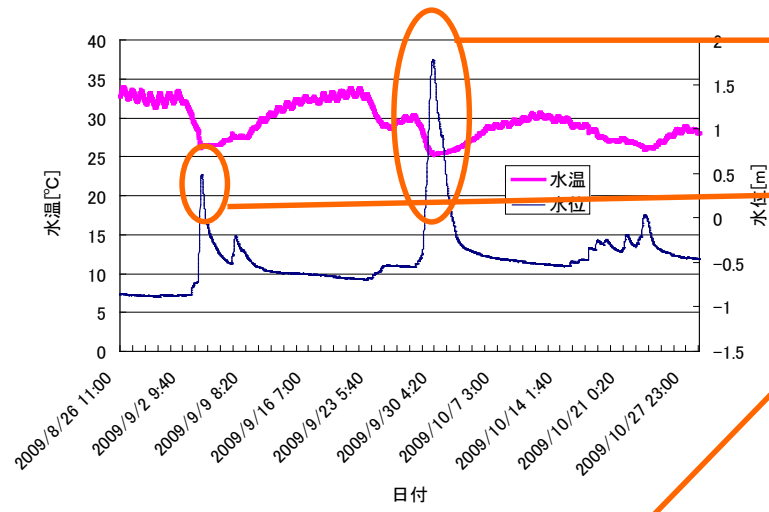
城郭内の配管網



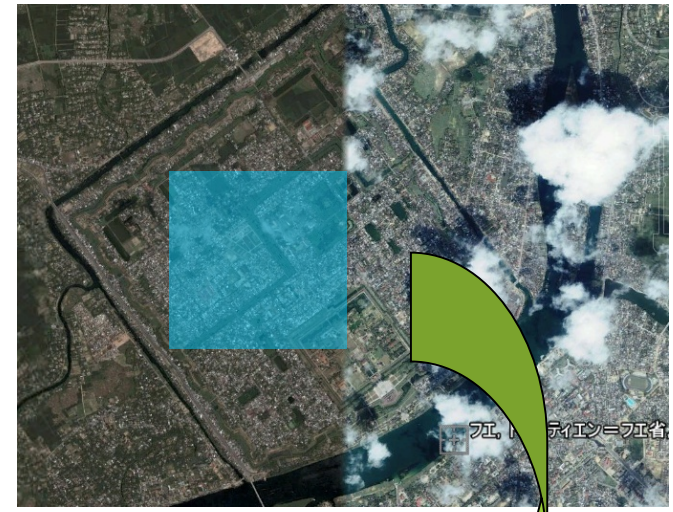
ごみの投棄

フエでの洪水時感染シミュレーション

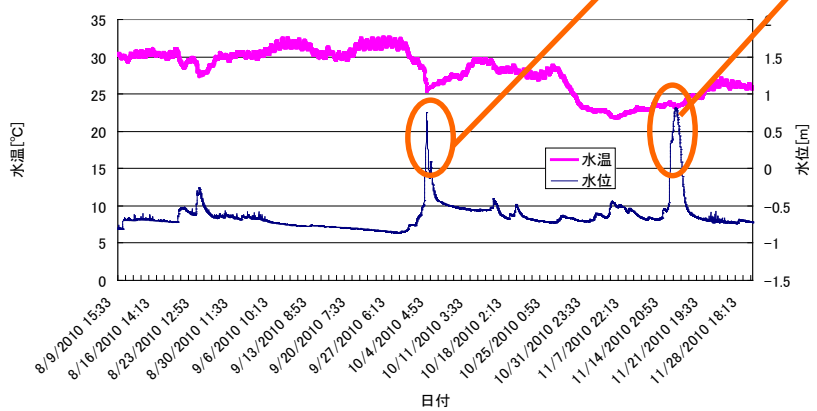
エリアの種類



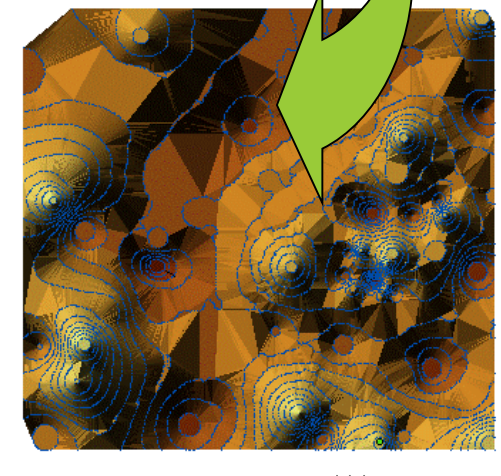
- ・大洪水 (4日間)
- ・小洪水 (1日)
- ・中洪水 (2日間)



2009年雨期



- ・エリア(++)
標高8-9 m
- ・エリア(+)
標高7-8 m
- ・エリア3(-)
標高6-7 m
- ・エリア4(--)
標高5-6m

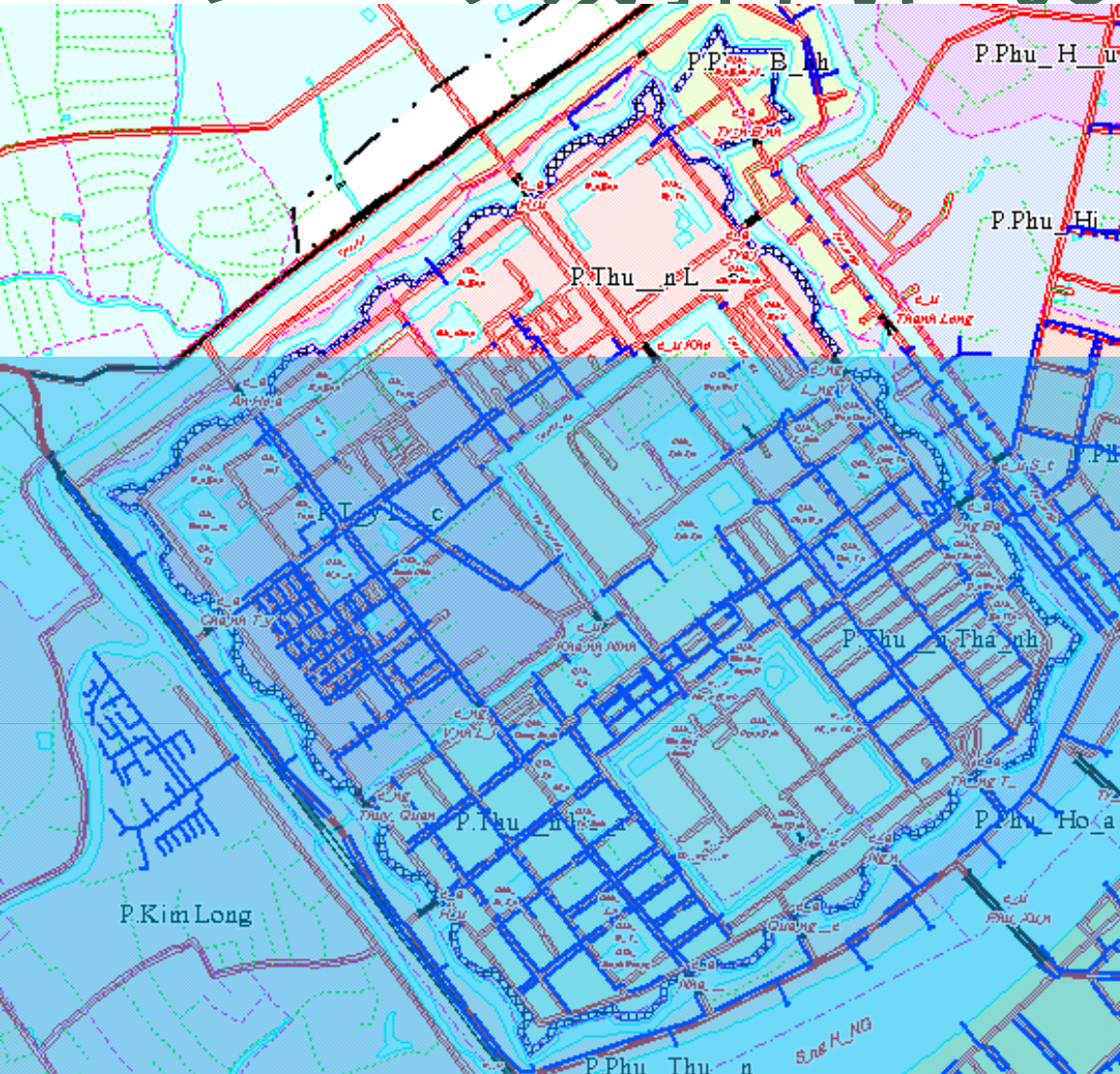


2010年雨期

* 資料作成: 橋本佳奈、福士謙介



フエの城郭内における洪水



何時、どの程度？



著作権等の都合により、
ここに挿入されていた写真を削除しました。

洪水の写真(ベトナム・フエ)

洪水の中の自動車の写真



水位計の設置



高度測定(基地局)

*



高度測定(移動局)

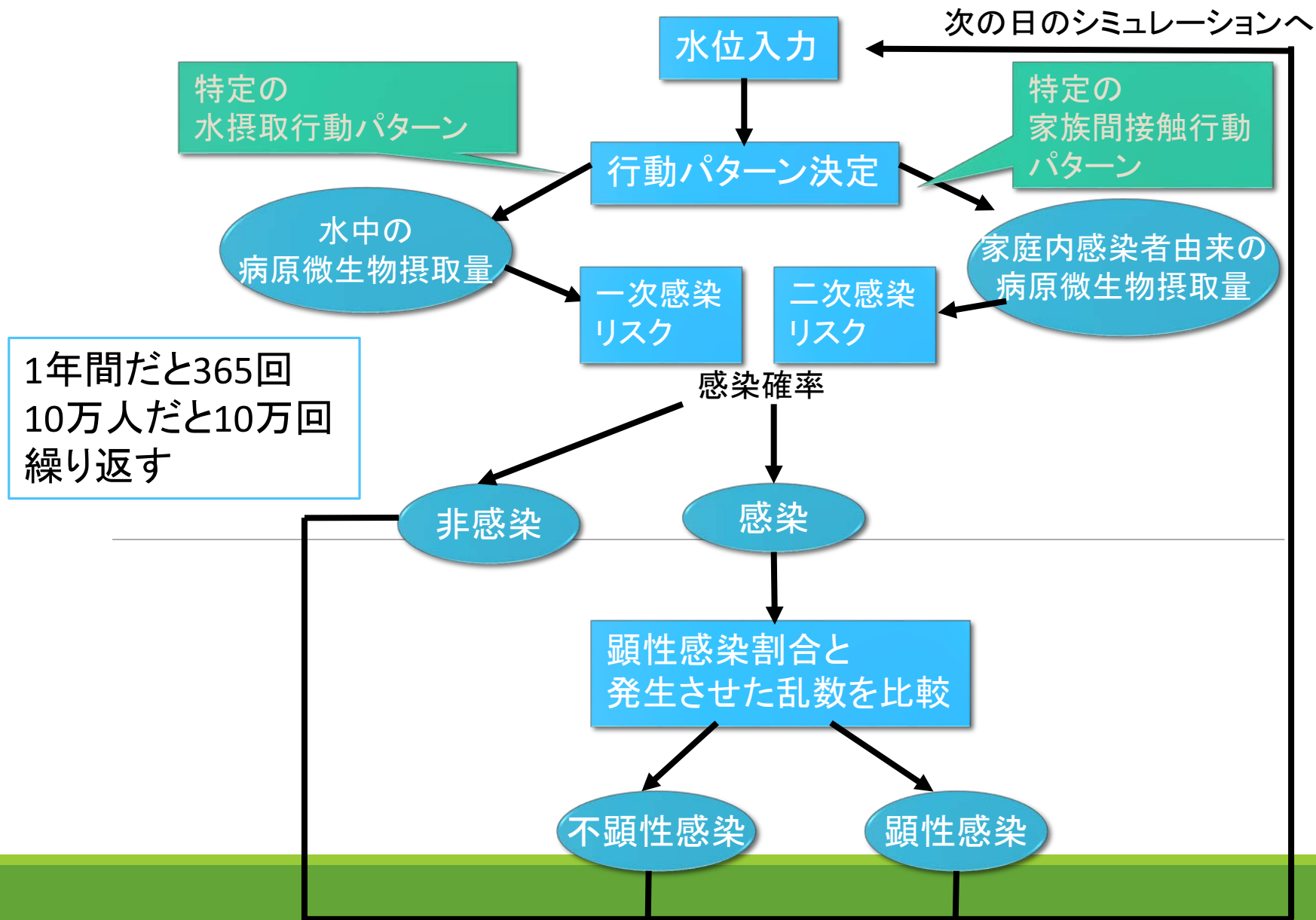


水質測定

*

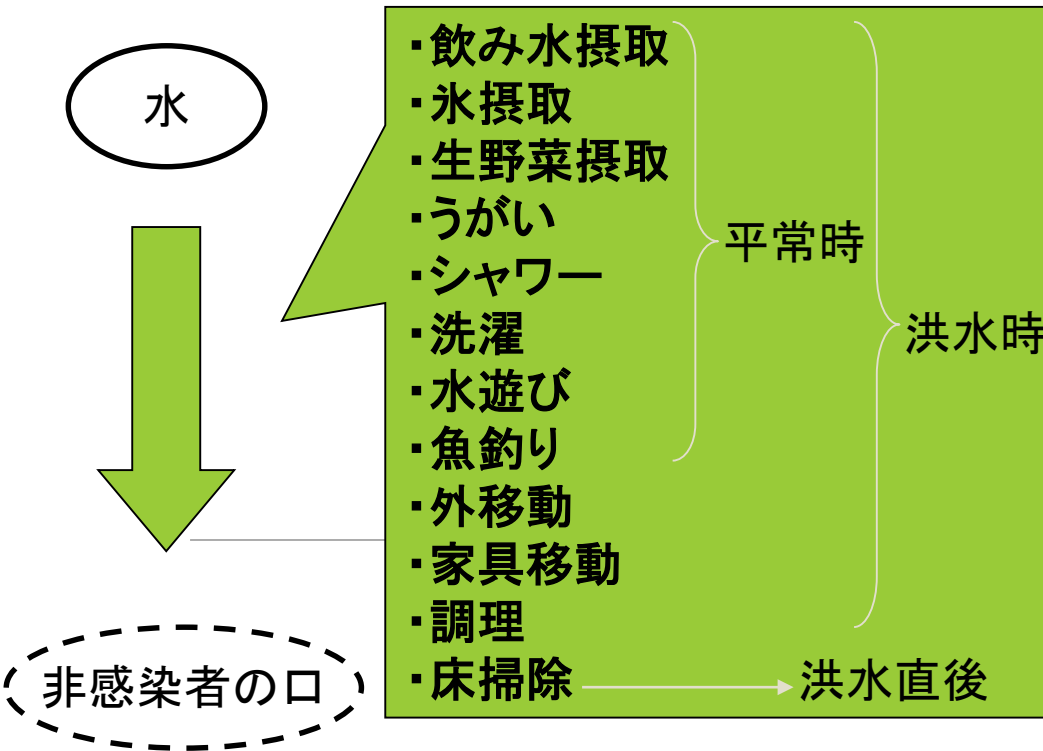


感染モデルの概要(例)

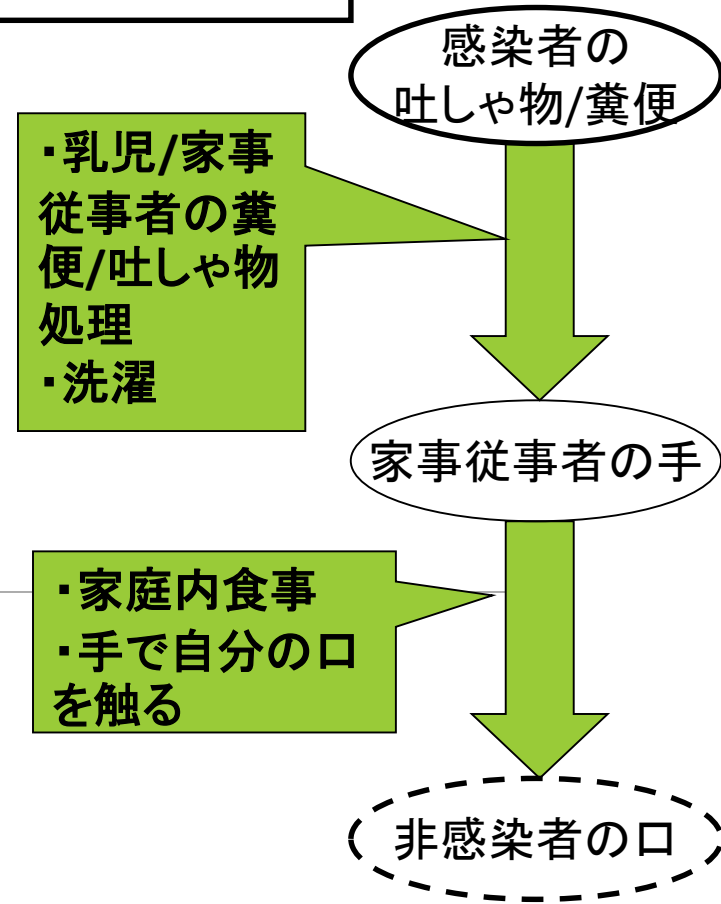


感染経路の例

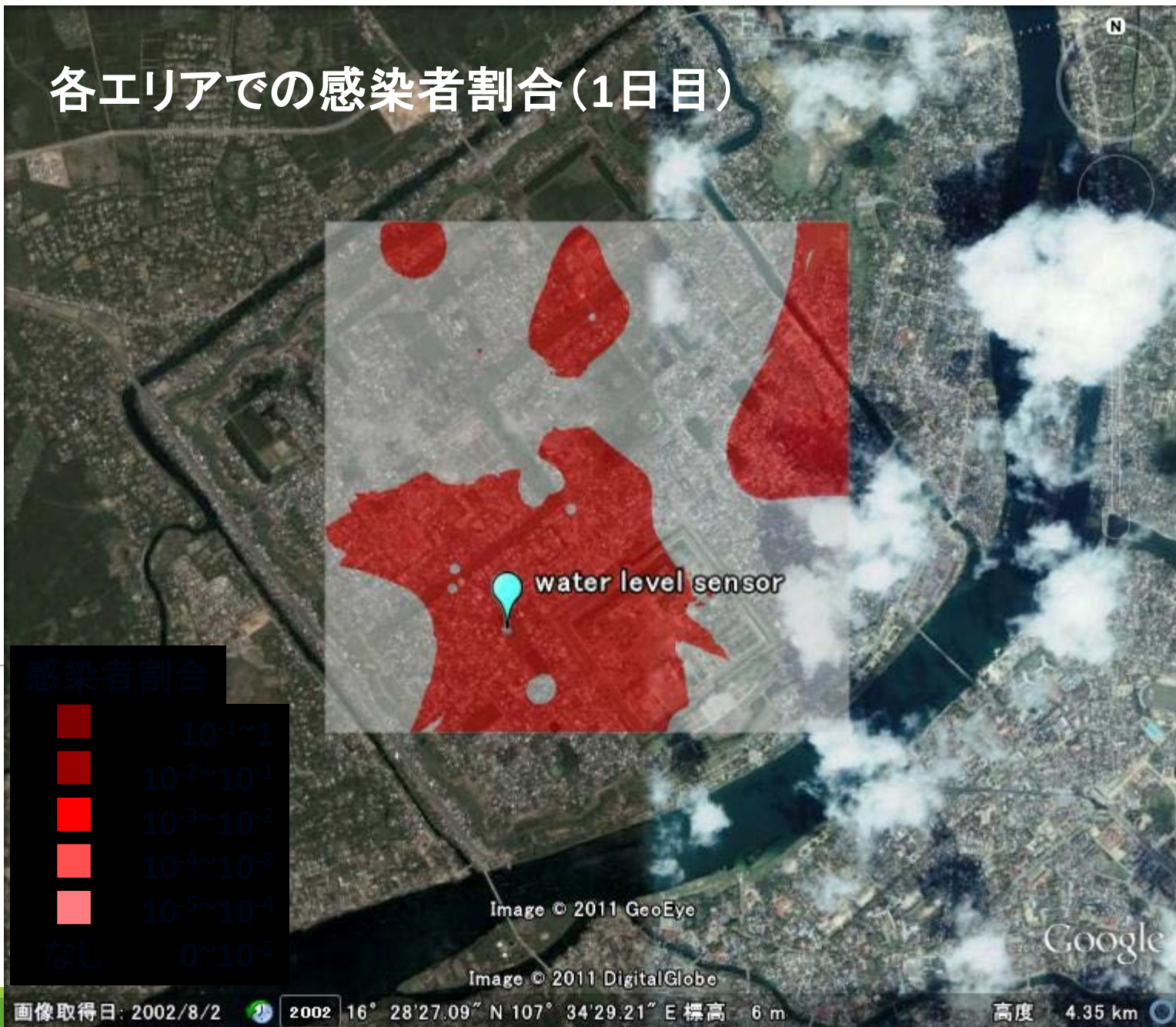
一次感染経路



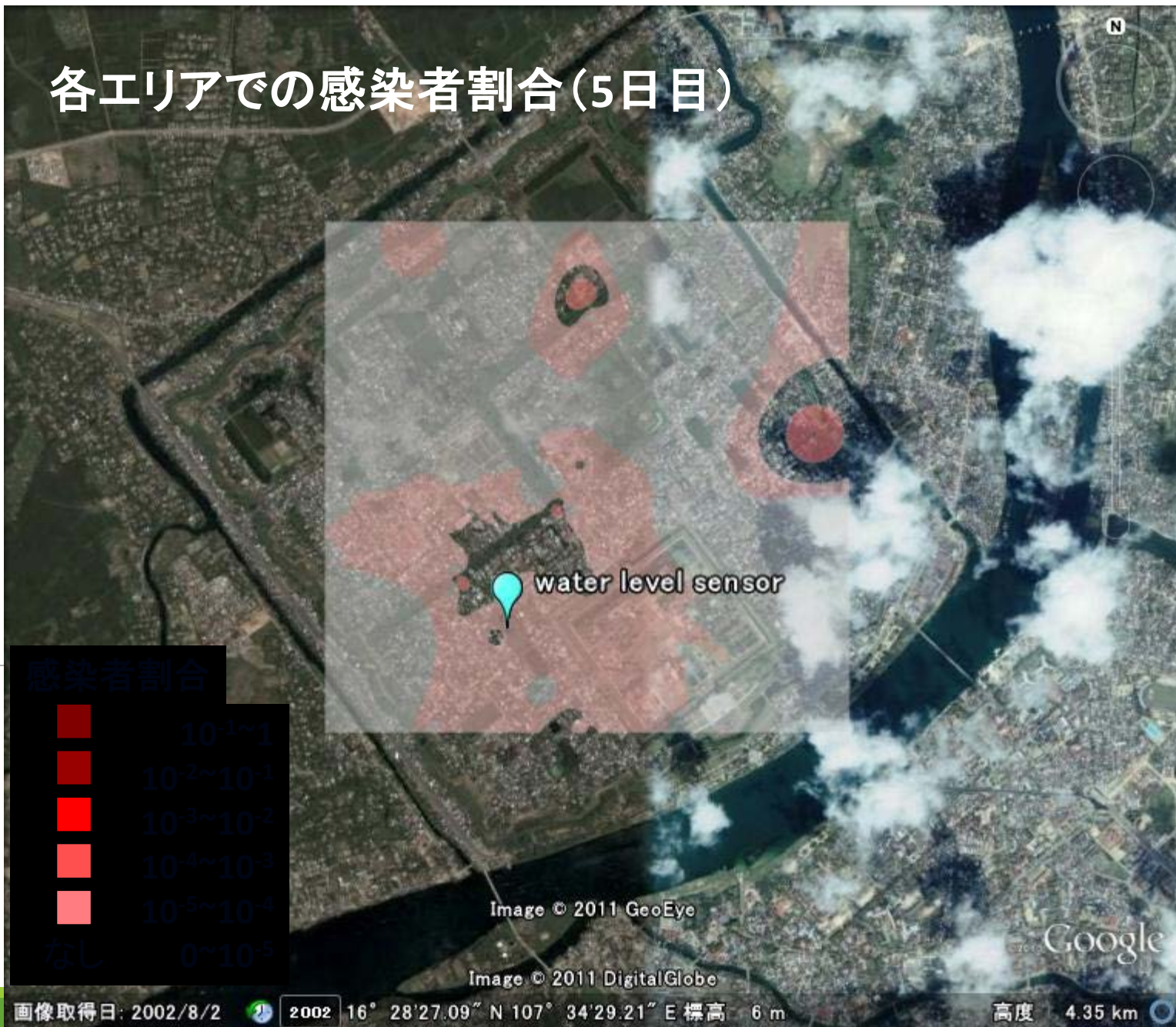
二次感染経路



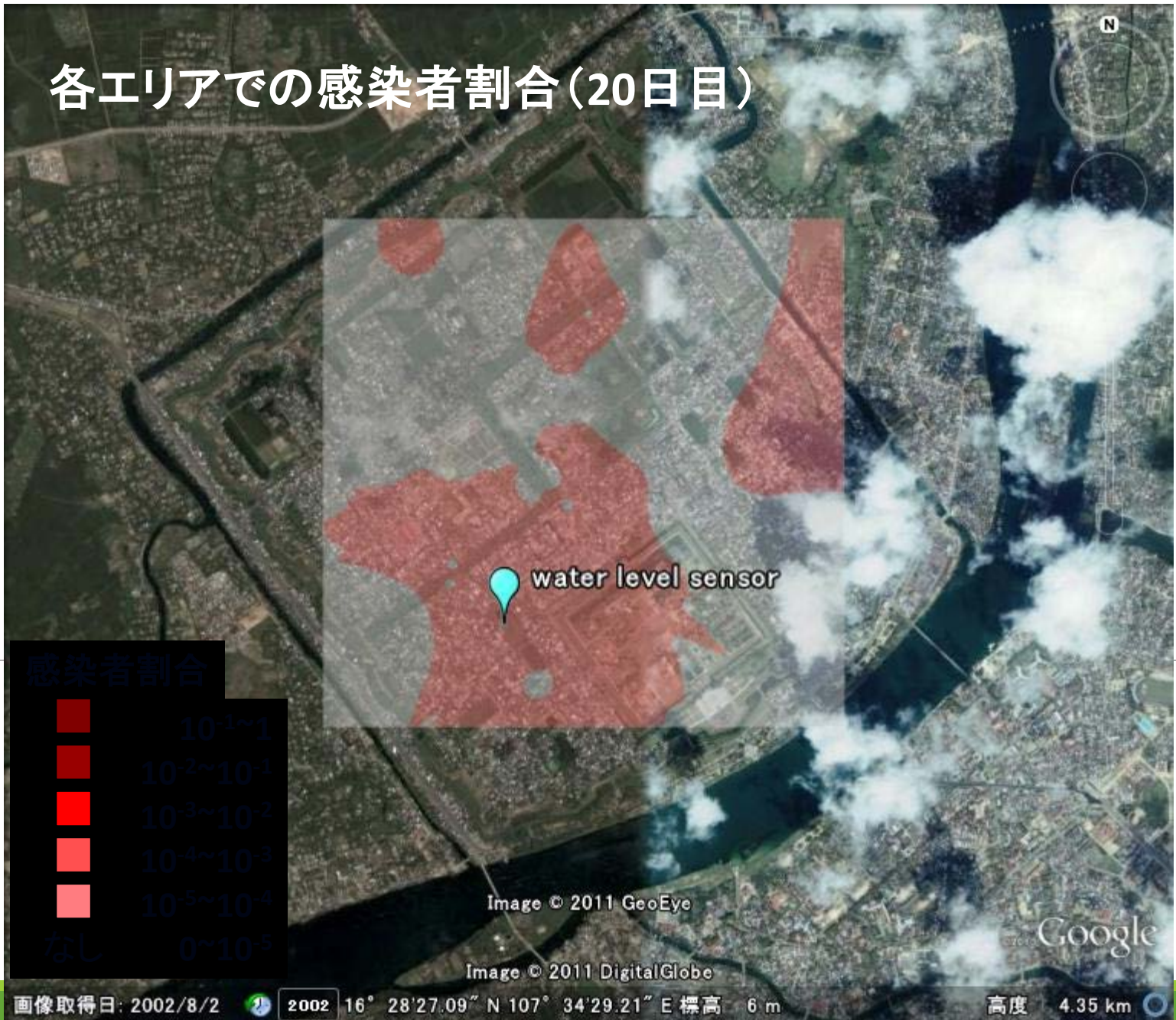
各エリアでの感染者割合(1日目)



各エリアでの感染者割合(5日目)

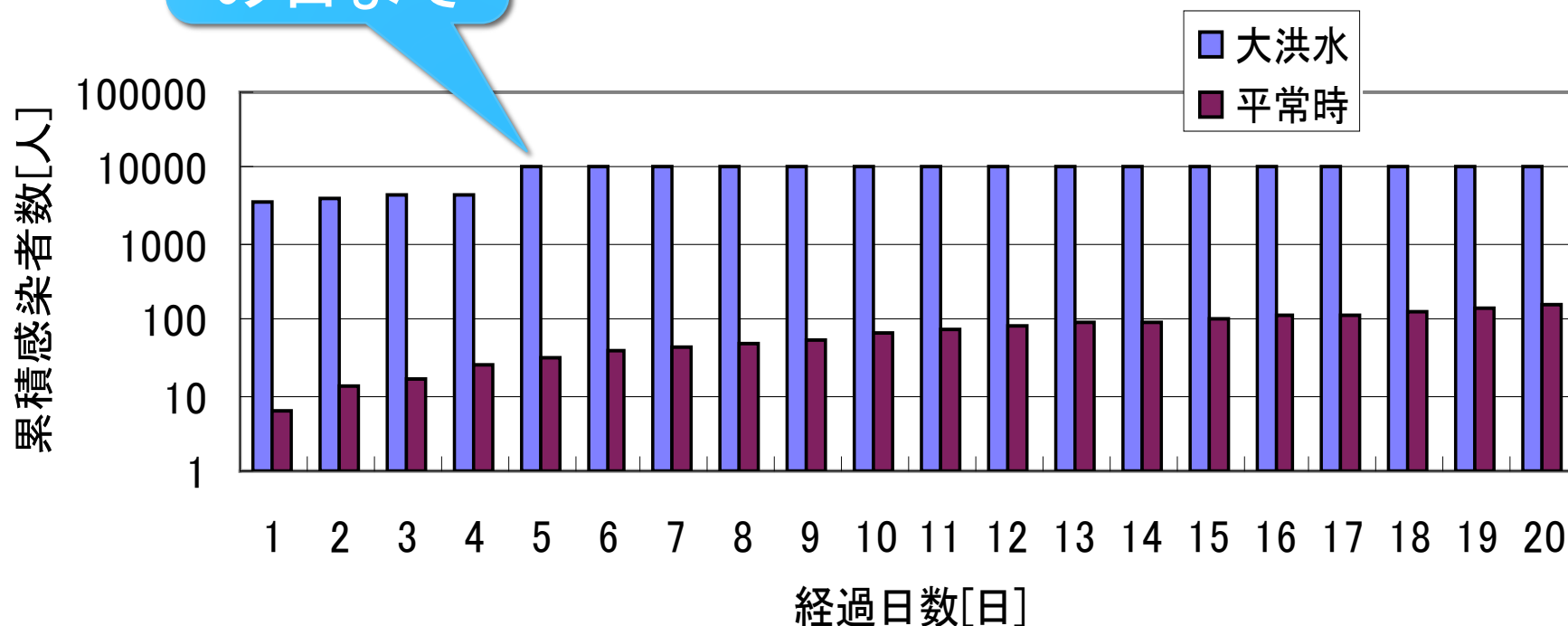


各エリアでの感染者割合(20日目)



洪水イベントあたりの感染者数

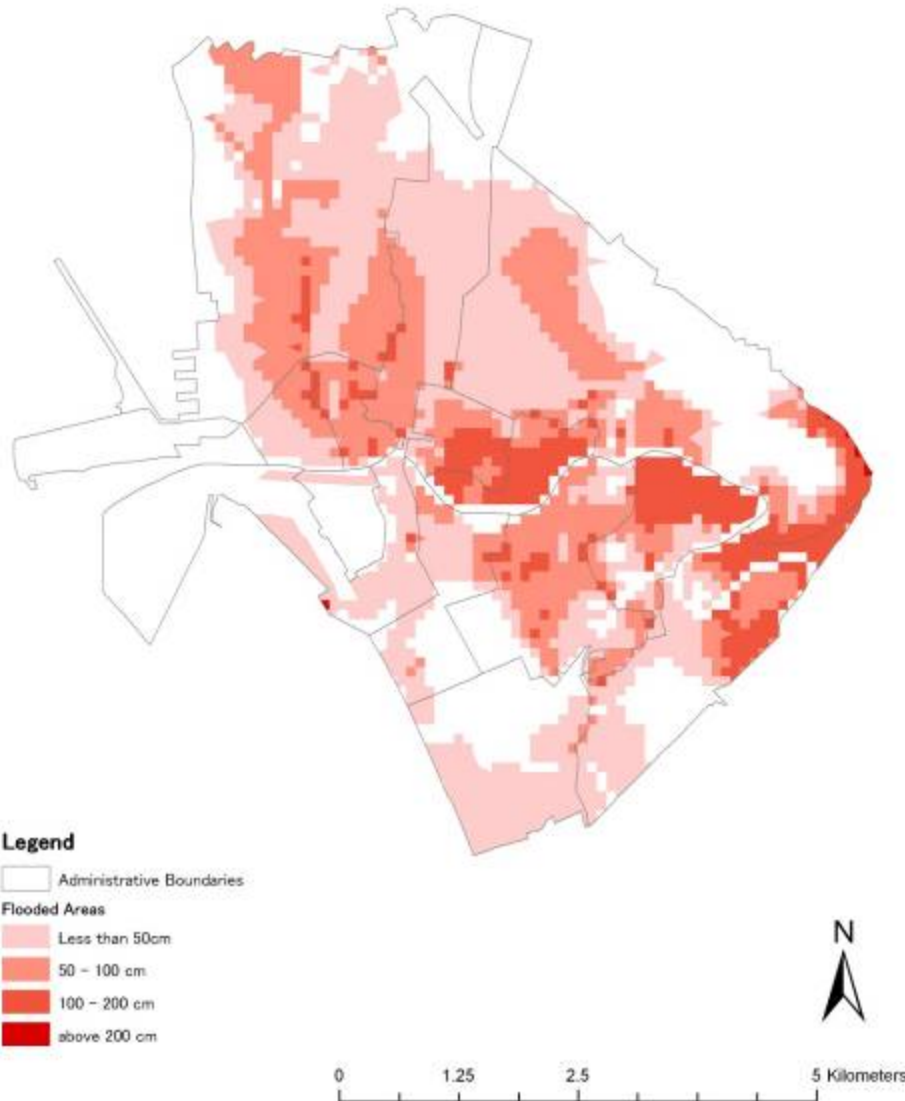
洪水はこの日まで



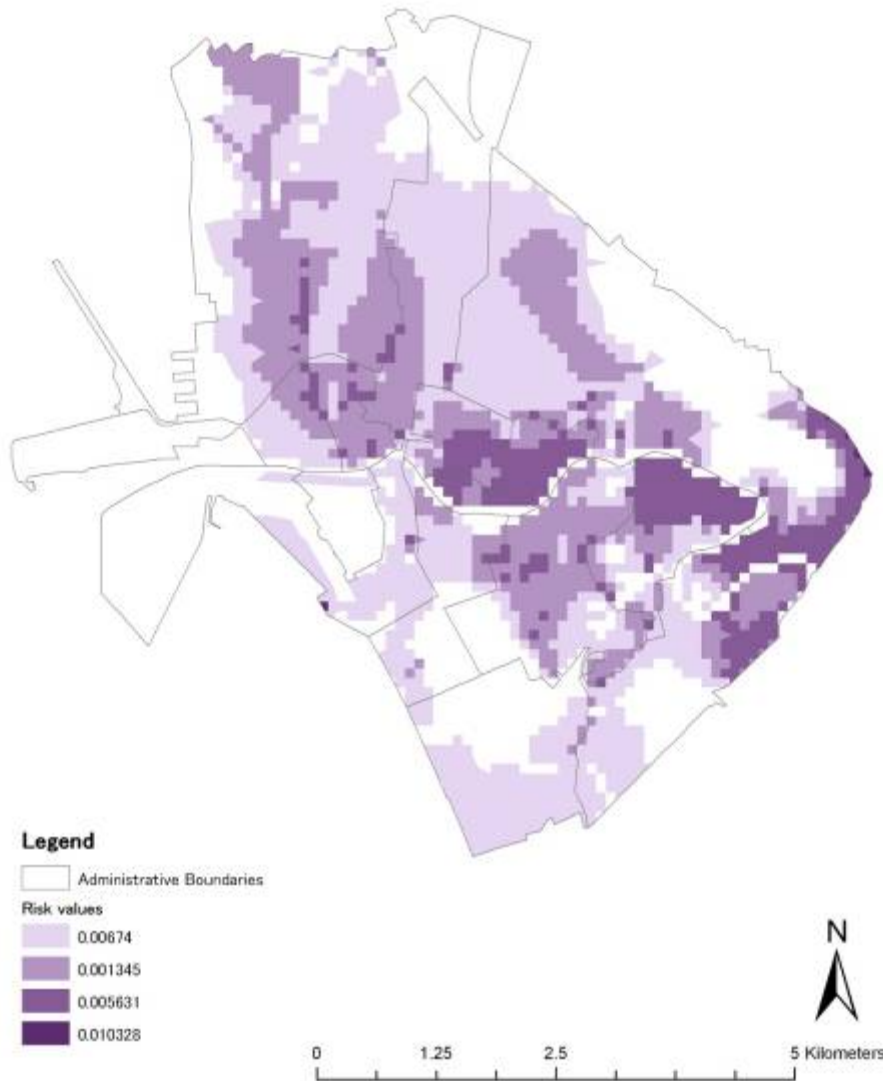
マニラ市の例



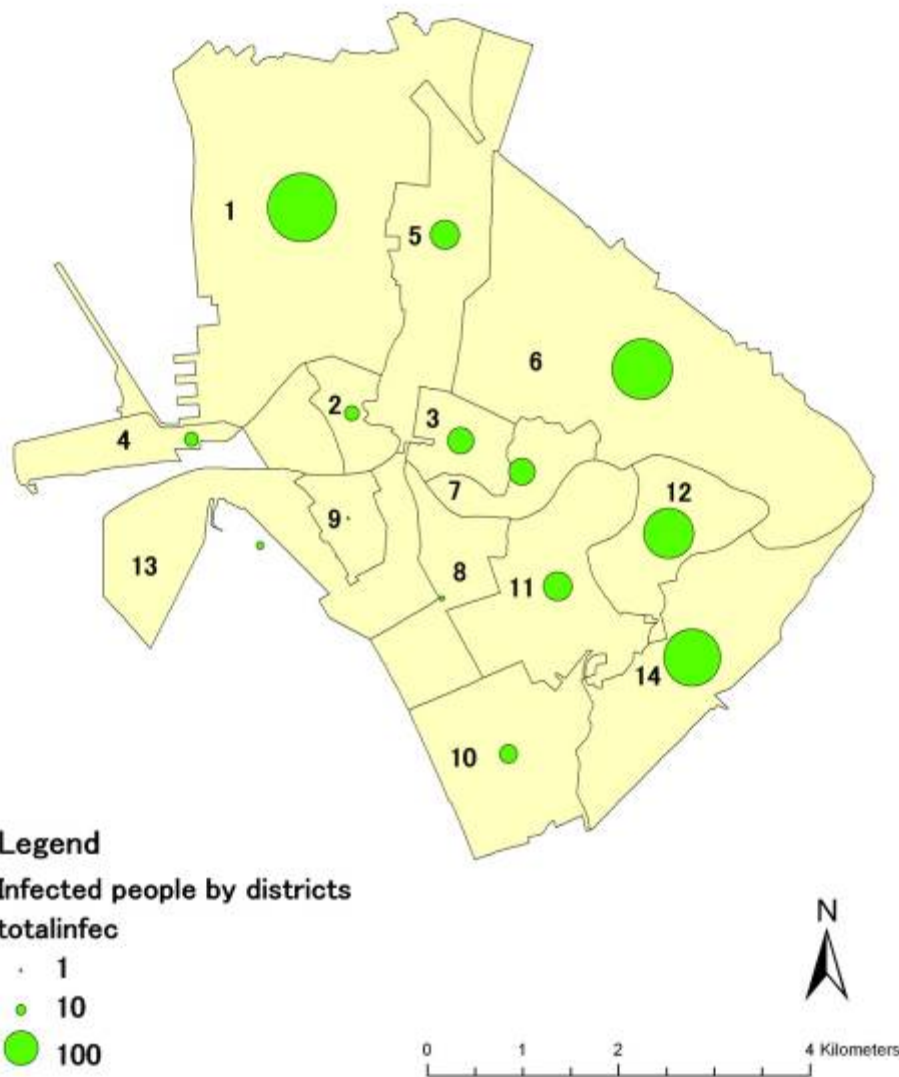
マニラ市の洪水マップ



マニラ市における 洪水を起因とする 水系感染症の感染 リスク



マニラ市における 洪水を起因とする 水系感染症の感 染者数



このモデルの今後の適用、 応用

様々な都市への適用例を増やす

今年はジャカルタを対象

都市の人間の行動のパターン化を行い、行動(傾向)をシミュレートするプログラムの構築

気候変動下の健康リスクを予測

我が国に適用する場合はベクター経由の感染症か？

ジャカルタ市の例





ジャカルタにおける計算結果(経済学的な考察)

障害調整損失年 (DALY) の算出

$$DALY = N \times W \times D$$

N: 感染者数

W: 症状の重篤さ(0.105)

D: 症状の継続時間(7日間)

毎年の洪水で都市全体で失われるDALYとその経済的な価値

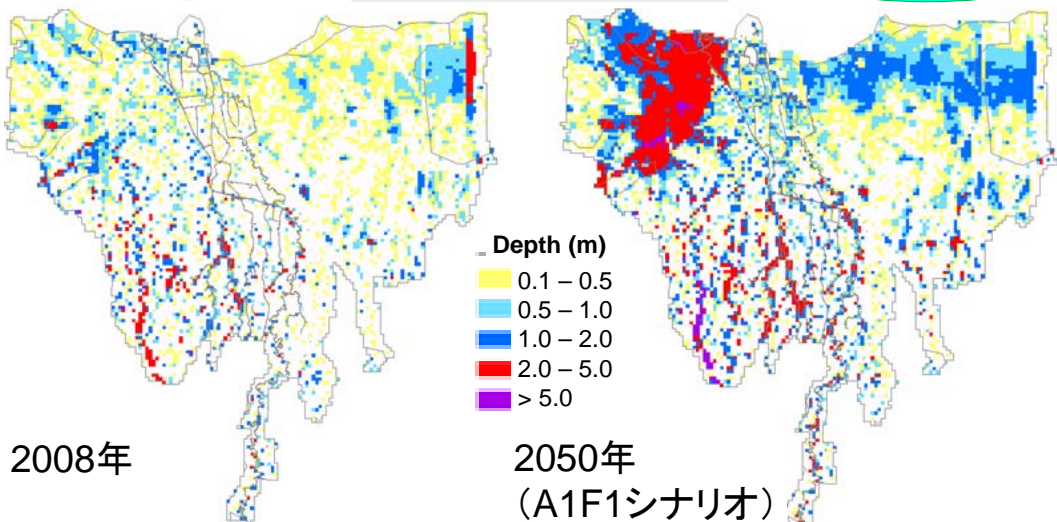
	2008年	2050年
人口	9.5mil	16.1mil
DALY	48年	228年
経済損失*	169,000 USD	801,000 USD

*2011年の1人当たりGDP (3,511USD)をベースとして算出

気象データ

洪水シミュレーション

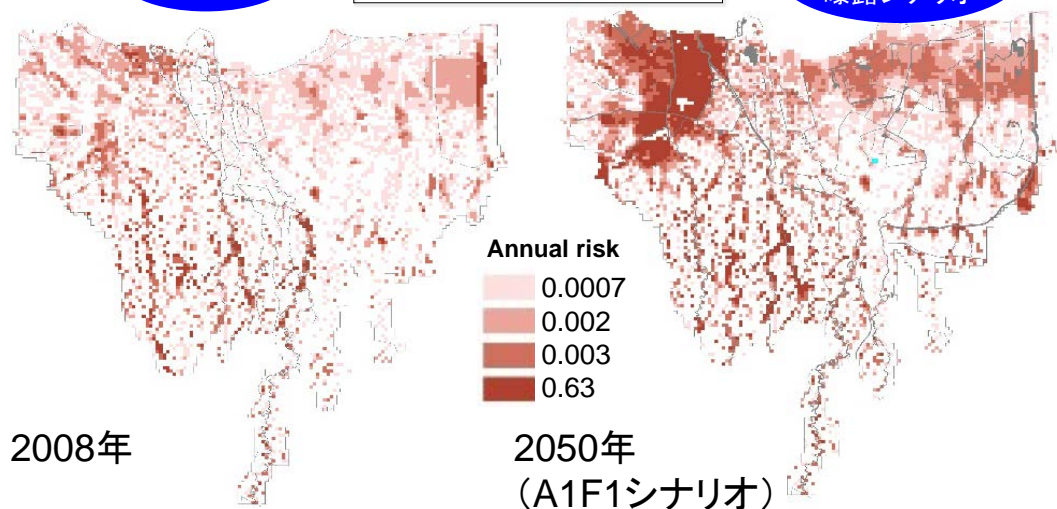
地形、土地利用



人口分布

下痢症のリスク評価

洪水深別の曝露シナリオ



総感染者数: 24,000 (0.25%)

総感染者数: 113,000 (0.70%)

110mメッシュを想定

都市の発展と環境

- 経済発展と環境のジレンマ
- グリーングロースとは？
- 自然共生社会の達成
- 発展の定義は？