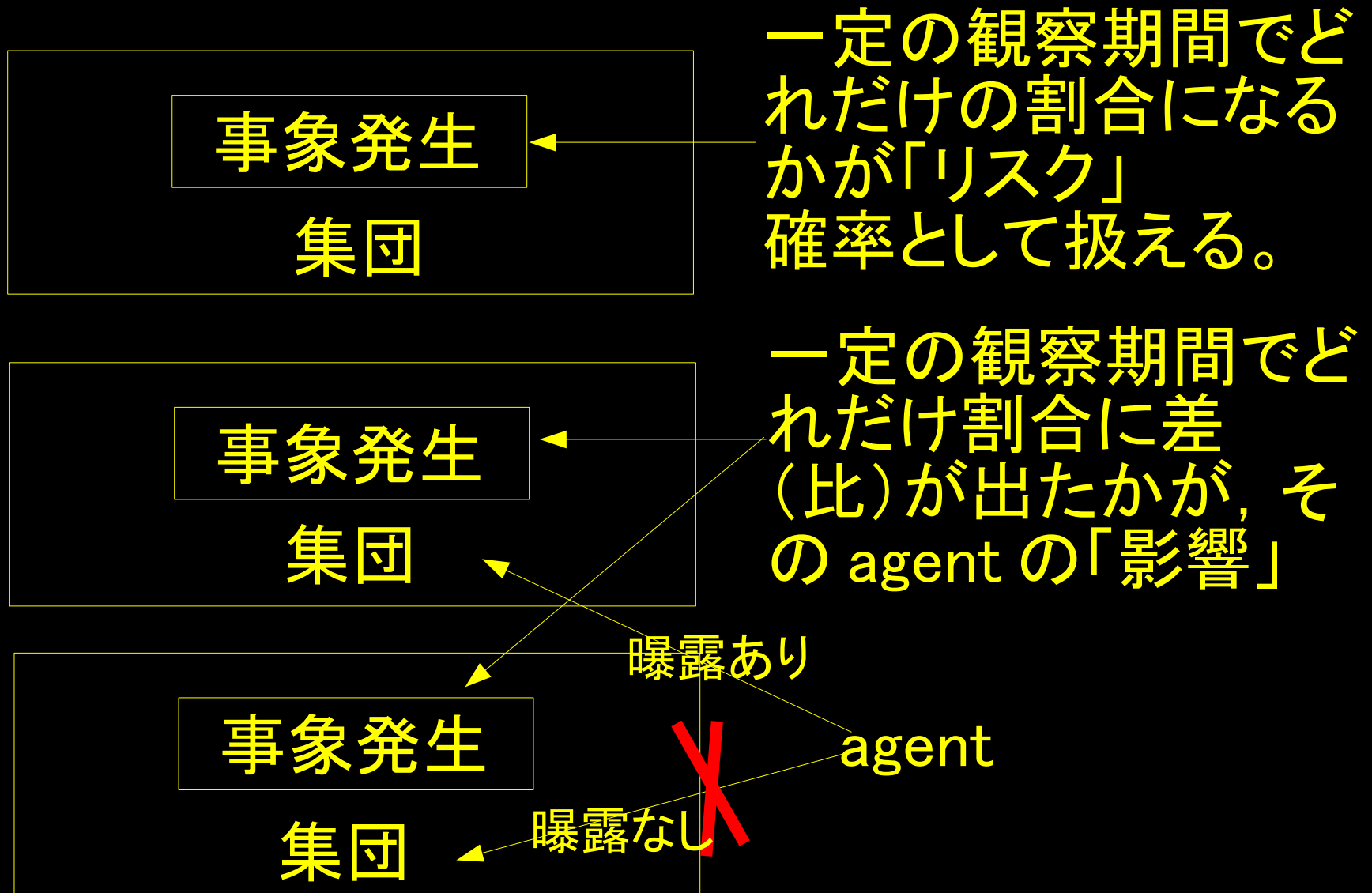


# 環境リスクの評価と管理

- 群馬大学大学院医学系研究科社会環境医療学講座  
生態情報学(公衆衛生学)教室  
中澤 港 <nminato@med.gunma-u.ac.jp>
- 講義内容
  - リスク(risk)と影響(effect)
  - 環境リスク・生態リスク・健康リスク
  - 環境の価値
  - 環境管理
  - リスク管理事例
  - 環境リスク・環境の健康影響の評価法
    - 直接的方法: エンドポイントの測定(死亡率, ハザード比, 損失余命等)
    - 間接的方法: CVM, コンジョイント分析, CRA 等
- 文献
  - 吉田文和・北畠能房編「岩波講座 環境経済・政策学第8巻 環境の評価とマネジメント」, 岩波書店, 2003年4月

# リスクと影響の区別



# リスク評価と管理の枠組み

- リスク管理は、リスク評価、リスクコミュニケーションとは別の管轄であるべき
  - (例) 食品のリスクについては、リスク管理は農林水産省が担うけれども、リスク評価とリスクコミュニケーションは食品安全委員会が担う(機能しているかどうかは別にして、とりあえず管轄は異なっている)
- しかし、健康リスクや環境リスクについては、リスク管理もリスク評価もリスクコミュニケーションも、管轄省庁が同一。健康はすべて厚生労働省、環境はすべて環境省
- この講義では管理と評価を説明するが、環境や健康の問題では実はコミュニケーションもきわめて重要で、かつ困難なことが多い

# 環境リスク・生態リスク・健康リスク

- リスクを考える場合、事象として、疾病発生によって健康が損なわれるなど、何らかの価値が損なわれることを扱う場合が多い
- 環境リスクと健康リスクは、見る事象が違う(前者が後者を含む)。環境リスクと生態リスクは価値の見方が違う(ほとんど同じ意味で使う場合もある)
- 中西準子・益永茂樹・松田裕之(2003)『演習 環境リスクを計算する』(岩波書店):「環境リスクを生態リスクと健康リスクに二分して考える」
- 環境の価値には、利用価値と非利用価値がある
- 健康の価値も(健康の定義すらいろいろあるので)多様

- 利用価値
  - 直接的利用価値:消費可能な生産物として得られる価値。木材生産,食糧生産など。
  - 間接的利用価値:消費できないが間接的に利用することで得られる価値。レクリエーション機能,水源涵養機能,国土保全機能など。Nature Service (例えば干潟のアサリの水質浄化機能)としての価値も含む
  - オプション価値:現在利用されていないが将来的には利用される可能性があるため,それまで自然環境を残しておくことで得られる価値。
- 非利用価値
  - 遺産価値:遺すものがあるという価値
  - 存在価値:存在するという情報によって得られる価値

# 環境管理

- 環境保全は、人類の存在そのものや生活の利便性、福祉と  
いったものと相反する面があるので、環境保全策を実施するに  
は、環境保全の効果と他の面への(多くの場合負の)効果(しか  
も人や地域によって異なる)をうまく調整しなければならない。こ  
の調整が環境リスク管理(環境リスクマネジメント)の役割
- 環境リスク管理(環境リスクマネジメント)は,
  - 環境リスク削減を目的(環境の価値が損なわれることを防ぐ)
  - その削減策がより大きな別のリスクを生まない
  - 限られた資源の下で削減の優先順位をつける
  - 他の原因による健康リスクや生態リスク削減策との整合性を  
考える
- つまり、総体としてベネフィットがコストを上回らねばならない

# 健康リスク対策の難しさ

- 健康は社会の文脈に依存しているので、健康リスクの評価は相対的にしかできない
  - 公衆衛生や栄養の水準が低ければ、少しコストをかけてそれらを向上するという健康リスク対策をするだけで、それらの改善と同期して平均寿命や健康寿命は延びる(集団レベルで健康リスク削減ができる)。
  - 既に公衆衛生や栄養の水準が高くなって、低栄養や感染症による死亡がほとんど見られなくなったあとは、健康リスク対策に金をかけても効果がさほどあがらない
- 南北間で資源を移転すると世界レベルの健康リスク削減は効果的に行われることになる(O DA の rationa の1つ)
- 先進国は健康リスク削減と同時に生態リスク増加が起こった(偶然ではない)。

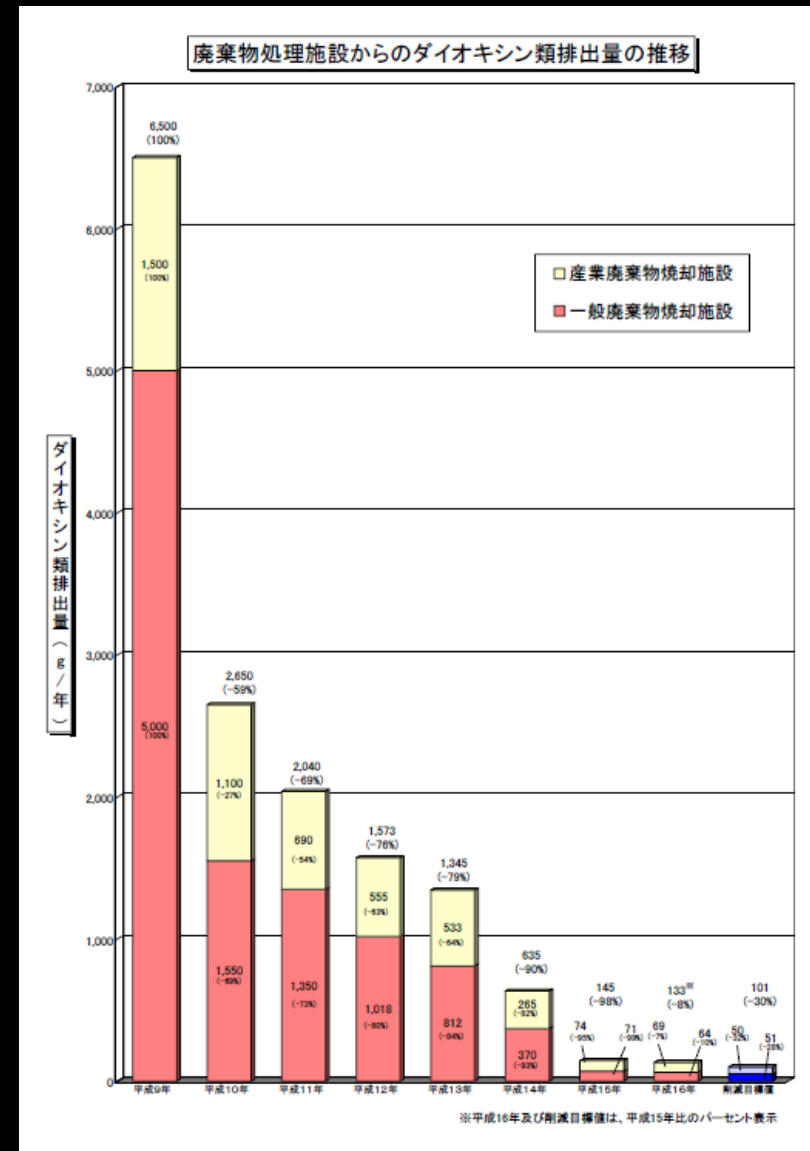
# vCJD のリスク

- 今のところ、きわめて低いと考えられる
  - そもそも発症リスクが低いいため、に尽きる。英国の発症数さえ BSE 牛肉曝露の割には少ない
  - 全頭検査は意味が薄い
    - 濃度の低いプリオンを検出する技術がない
    - SRM 除去の徹底の方が大事
  - 米国牛肉輸入は意味が異なる
    - そもそも検査が少ないので、見逃しの可能性が高く、リスク評価モデルの入力値の幅が大きく、信頼できるリスク評価が難しい
    - 除去が徹底されている保障がない
    - Outcome measure が怪しい
- ただし、感染から発症に至るメカニズムが不明なので(潜伏期間も長いかもしれない)、今後どうなるかは不明
- 感染症では二次汚染があるので輸入しない方が安全(健康リスクとしては、現在までのところ、無視できるくらい低いけれども)。ベネフィットを考えるには食物としての牛肉の評価も含めた多面的評価が必要なはず



# ダイオキシンのリスク管理(1)

- 2000 年末のダイオキシン特別措置法施行によって一般廃棄物や産廃焼却炉の厳しい排ガス規制が始まり、焼却炉から排出されるダイオキシン濃度は確かに低下したし、下水への排出も低下した
- しかし、ヒトへの曝露に一桁多く寄与する食品中ダイオキシン類は土壌や底質中に蓄積したものに大きく由来し、土壌や底質中に蓄積したレベルがあまり変わらないので、健康リスクはあまり変わらない



# ダイオキシンのリスク管理(2)

- なぜ、ヒトのリスクがあまり変わらないのか？
  - リスクの大きさが体内に蓄積されているダイオキシンに依存
  - 生物学的半減期が長い
  - ヒトの体内への主たる経路は食品(魚介類からが7割)
  - 魚介類中のダイオキシンも環境(とくに底質)に残留しているものの影響が大
  - ヒトに摂取されるダイオキシンの6~7割は PCDD/Fs でなく co-PCB
  - 焼却炉排ガスのダイオキシン類のうち co-PCB は 5% 程度
  - co-PCB 源は捨てられた PCB 製品かもしれない
  - 環境中の残留 PCDD/Fs は過去に使われた農薬由来が主(発生源解析の結果。ただし主成分分析の解釈に疑問の余地あり)

# ダイオキシンのリスク管理(3)

- 代替リスク回避策はあるか？
  - 食品中ダイオキシンを減らすのは困難(土壌や底質から全て除去することはほぼ不可能)
  - コストベネフィット分析の結果, ディーゼルの排ガス対策が有効とわかっている
  - 他の対策は一長一短
    - 母乳をやめると免疫機能低下などで余命損失は増えるのでダメ
    - ダイオキシン濃度が高い魚介類を控えるのも代わりに肉をとったらコレステロールが高くなるとか, ダイオキシン濃度が低い魚介類をとったらメチル水銀が増えそうだとか, 肉も魚介類もとらないと低タンパクになるなどの理由でダメ
- 焼却炉対策は無駄だったのか？
  - 短期的には的外れだったと言わざるをえない
  - 長い目でみればまったくの無駄ではない(H16.11.12の中央環境審議会答申でも長期的管理が必要と提言)

# 環境リスクアセスメント

- 環境リスクアセスメントをするのは、環境管理を目的にしているのだから、コストの評価も重要
- 環境影響評価法では、一定規模以上の公共事業を実施する前に、環境影響評価をすることが義務付けられている。1000 ページくらいの評価書ができ、それが公開されて Public Involvement (PI) を行うのが普通。
  - そうはいつても、1000 ページの専門用語と数字が散りばめられた文書を読める一般人はそうそういないので、多くの場合、PI は一般の人の意見も聴きました、という行政のアリバイ作りになっているのが現状
- 小規模の開発では義務付けられてはいないが、環境問題や生態系のような複雑系では間接影響の非決定性のために多面的なアセスメントの意義は大きい(非決定性ゆえに、幅が重要)。

# リスクアセスメントの方法

- 直接的評価(点推定量であることが多いが、リスクコミュニケーションを考えると幅が重要)
  - リスクそのもの(なんらかのエンドポイントの生起確率そのもの):  
例えば発がんリスクなら、観察対象者のうち、観察期間内にがんを発症した割合となる。対策の評価は、リスクをどれだけ下げるのにどれだけコストがかかるかという視点で行われる
  - ハザード比 = 曝露量 / 許容曝露量
  - 損失余命
- 間接的評価(ヒトによる価値観の反映を含む)
  - CVM (Contingent Valuation Method)
  - コンジョイント分析……アンケートで良さそうなプロフィール(シナリオ)を選んでもらう方法
  - CRA (Comparative Risk Assessment)

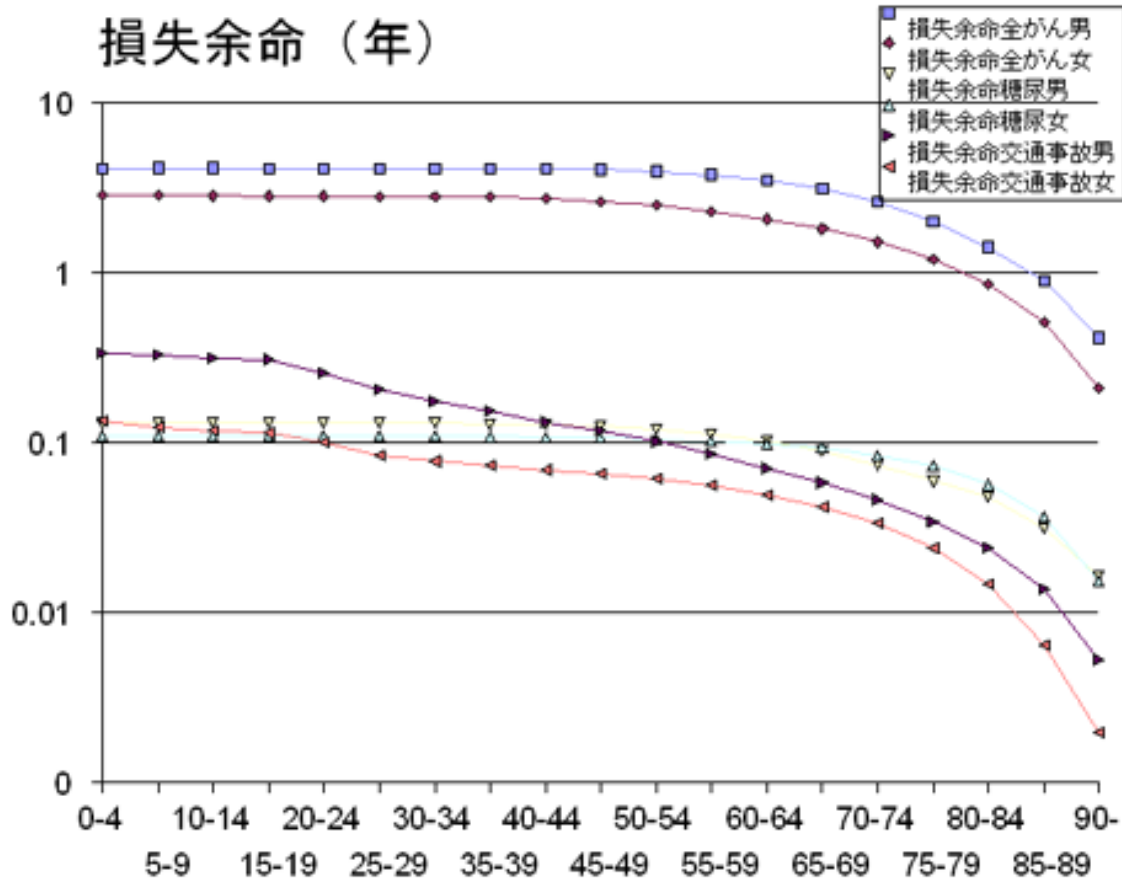
# ハザード比

- がんの場合は、死亡をエンドポイントとしてリスクが評価されるが、一般に発がん確率＝がんによる死亡の確率とみなされる。致死的な事故による障害も死亡をエンドポイントとしてリスクが評価されるので比較可能。致死的でない疾患はエンドポイントが異なるので比較できない。
- がん以外の疾患に伴うリスクはハザード比で評価するのが普通
  - ハザード比は曝露量を許容量（無影響曝露量を安全率 [= 不確実性係数] で割った値）で割った値。
  - ハザード比が1未満ならリスクはゼロ（複合効果は無視）。ハザード比が1を超えるとリスクはある（大きさは不明）

# 損失余命

- 人は誰でもいつかは死ぬので、死をエンドポイントとすると、低いリスクの削減効果をみるためには長い観察期間が必要となつて、観察からの脱落が増えてまずい。死亡そのものでなく、死によって失われた寿命の長さを評価するのが損失余命という考え方
- Graham ら(ハーヴァード大学リスク解析センター)の方法
  - 実態でなく、死が発生する状況に応じて損失余命を割り付ける。
- 蒲生らの方法
  - 生命表で、その死因による死亡がなかったら平均余命がどれだけ延びるかを計算して、その死因による損失余命と考える

# 損失余命の計算例





- CVMとは、Contingent Valuation Method (仮想評価法)の略：環境(健康を含む)の価値を仮想的な金銭に換算して考える。即ち、リスク削減のためにいくらなら払ってもいいか(支払い意思額：WTP)、いくら貰えばリスクが増えてもいいか(受入れ補償額：WTA)をアンケートで調べる方法論
- 健康リスクならQOLをみるような場合に使われるが、保健医療政策の実施前評価にもっと使われてもおかしくない。環境リスク評価には良く使われる
- 欧米では裁判でも使われる(例：バルディーズ CVM 評価)。
- 実施ガイドライン：NOAA Blue-Ribbon Panel (1993)
- 限界：仮想の妥当性、とくに日常的に現金経済に接していない人が対象の場合のWTPとWTAの不一致、質問のバイアス等

# CRA (Comparative Risk Assessment)

- 米国環境保護庁が環境問題の優先順位付けのために開発した手法
- ある地域に関する環境問題の包括的なリストを作成し、問題の影響の大きさをリスクの側面から比較評価して(この際、健康リスクだけでなく、生態系リスクや生活の質へのリスクなども加味)ランクをつける
- 評価するのに専門家だけでなく、市民代表など幅広い人が参加して住民の立場からの意見も取り入れる点が特徴。
- (例) 国立環境研究所が中心になって、環境庁、地方自治体、大学、コンサルタント、環境研究所から、関係者 24 名がパネルとなって、年2回泊り込みで、環境問題のリストづくりとランクづけをした。結果は 15 の問題領域 [地球規模の大気変動, 有害化学物質汚染, 電磁波・放射線など] ごとの 4 つの側面 [健康, 生産, 生物, 精神] への影響の大きさの、参加者の平均値として得られた(高月紘「自分の暮らしがわかるエコロジー・テスト」講談社ブルーバックス参照)

# CRA の応用としてのエコポイントチェック

- 1) 参加したパネルメンバーが思いつく問題領域のリスト作りをする(思いつくままあげていき、後で似たものをまとめたりして絞る)
- 2) 絞り込まれた 15 の問題領域から、日常生活に関連が深いものとして温暖化、廃棄物、水質汚染、大気汚染、有害物質の 5 分野を取り上げる
- 3) 各分野について、パネルがつけた 4 つの側面[健康、生産、生物、精神]での得点を加算し、得点比率を分野ごとの重みとする(環境研 CRA では、温暖化問題 24.3 %、廃棄物問題 18.6 %、水環境問題 10.9 %、大気環境問題 15.9 %、有害化学物質問題が 30.3 % となった)。総得点が 100 点満点になるように、重みの合計を 10 にする(同じく 2.4, 1.9, 1.1, 1.6, 3.0 となった)
- 4) 各分野について 10 点満点になるように、25 の日常行動(各分野について関連しそうな日常行動を予め 5 つずつ決めておいたもの)に評点を割り振る。割り振りの基準は、現状の環境負荷全体をひとつの環境容量とみて、この容量に対してどれだけ負荷を削減できるかという視点で行われる(ただし前述のように、象徴的な意味も含めて考える)
- 5) 25 の日常行動それぞれのエコポイントが、5 分野での評点に重みを掛けて合計したものととして得られる(例えば「新聞・雑誌をリサイクルに出している」という行動は、温暖化評点 0.6、廃棄物評点 3.1、水環境、大気環境、有害化学物質評点が 0 なので、 $0.6 \times 2.4 + 3.1 \times 1.9 = 7.4$  となった)
- 6) 回答者が 25 の日常行動それぞれについて、「いつも取り組んでいる」から「まったく取り組んでいない」まで 5 段階で自己評価できるように、「いつも」にその行動のエコポイントの満点、「まったく」を 0 点として、その間を 4 等分して評点とする。

# その他のアセスメント法

- エネルギー消費量や資源消費量や二酸化炭素負荷量などに還元して1つの軸で比較評価する方法（CVMも金銭という1つの軸にするので思想的には近い。仮想でなくても、実際に除去や予防に必要なコストを計算して金銭という軸で評価する方法もある。タイムスパンが問題）
- 科学的あるいは政治的に定められた環境上の目標に対する距離を用いる方法（環境影響スコアを特定の場所と期間における実測値で割ることによって正規化でき、さまざまな問題の間での相対的な比較が可能になる）
- コンジョイント分析を行う際に用いるシナリオを、マルチエージェントモデルで予測する方法（MAM-CA）

# MAM-CA (multi-agent-modeling based conjoint analysis)

- 政策的介入が狙っているアウトカムは1つあるいは少数だが、常に副次的な(複数かつ多面的な)アウトカムをもたらす
- 通常、コンジョイント分析 (conjoint analysis) では、複数のシナリオを提示して住民などにどれがいいか選んでもらう(あるいは評定してもらう)が、シナリオで提示されるアウトカムが限定的である点が問題(副次的アウトカムを出さなかったり数値予測が点推定だけだったり)
- 介入候補別にマルチエージェントモデルを作成し、そのシミュレーション結果(偶然起こりうる変動幅も含め、かつ複数のアウトカムを見ることが出来る)をシナリオとして提示することでこの問題に対応する試み

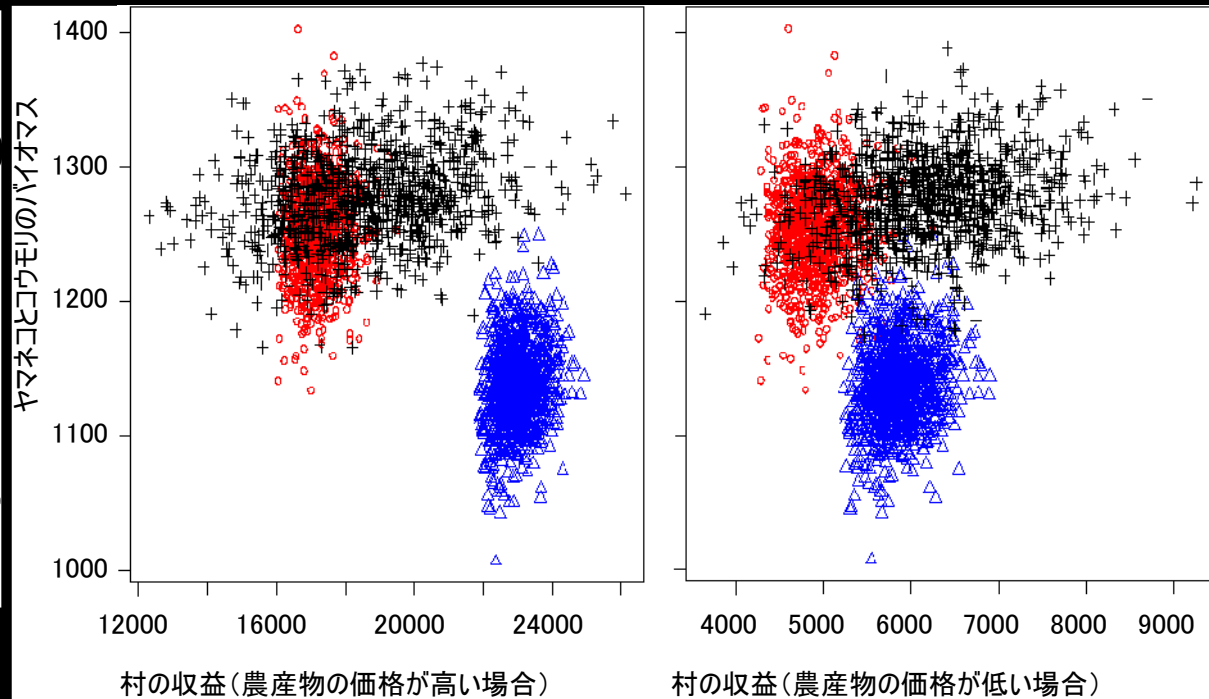
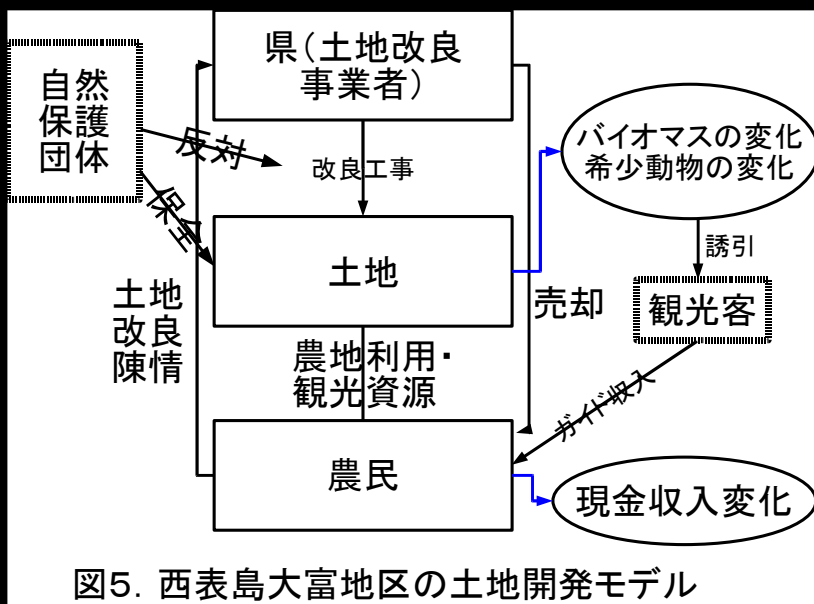
# 例) 沖縄・西表島における農地開発(1)

- 西表島で、沖縄県による土地改良事業が採択され、いったん工事に着手されながら、外部の自然保護団体(西表自然史研究会, 日本哺乳類学会, 日本自然保護協会)が希少野生生物の生息環境を守るために工区変更を求めたことをきっかけに開発が問題化した事例
- 住民は、土地改良された国有地を農地として払い下げてもらったことを望んでいた。農地になった場合の収入は農産物の価格にも依存する。
- 現実の経過としては、東工区では農家, 自然保護団体, 町, 県の4者協議を経て、工区を変更して農地開発がなされた。一方、西工区ではイリオモテヤマネコの生息地を守るために、完全に工事が中止された。
- 意思決定の前に MAM-CA がなされれば違う展開もあったかも？



# 沖縄・西表島における農地開発(2)

- この問題をMAM化すると、下左図のようになる。土地改良事業をしない場合、そのままでは明らかに現金収入が低下するので、代替案としてエコツーリズムを実施する場合を考えてみる
- シミュレーションの結果は下右図の通り。



# 沖縄・西表島における農地開発(3)

- 検討したシナリオは、実際の経緯の通り(シナリオ0)、外部の自然保護団体による干渉がなく土地改良事業が完工した場合(シナリオ1)、まったく土地改良はせずエコツーリズムを導入した場合(シナリオ2)である。
- シナリオ1ではコウモリとヤマネコが減るかわりに収入が増える確率が高いが、偶然にコウモリとヤマネコもシナリオ0より減らずに収入が増える可能性もある。シナリオ2ではコウモリもヤマネコもシナリオ0より増える可能性が高く、かつ収入もシナリオ0より増える可能性が高い。シナリオ2よりシナリオ1の方が平均的には収入は増える可能性が高いが、最高収益を達成する可能性があるのはシナリオ2である。
- どれがいいとは一概に決められないので、この結果を住民に提示し(必要なら説明して)、どれか1つを選んでもらうか、すべてのシナリオに評点をつけてもらって(マイナスありで)コンジョイント分析をすると合意形成に役立つだろう。