

「産業環境システムの耐リスク性」

大阪大学大学院工学研究科
環境・エネルギー工学専攻
代表者：東海明宏

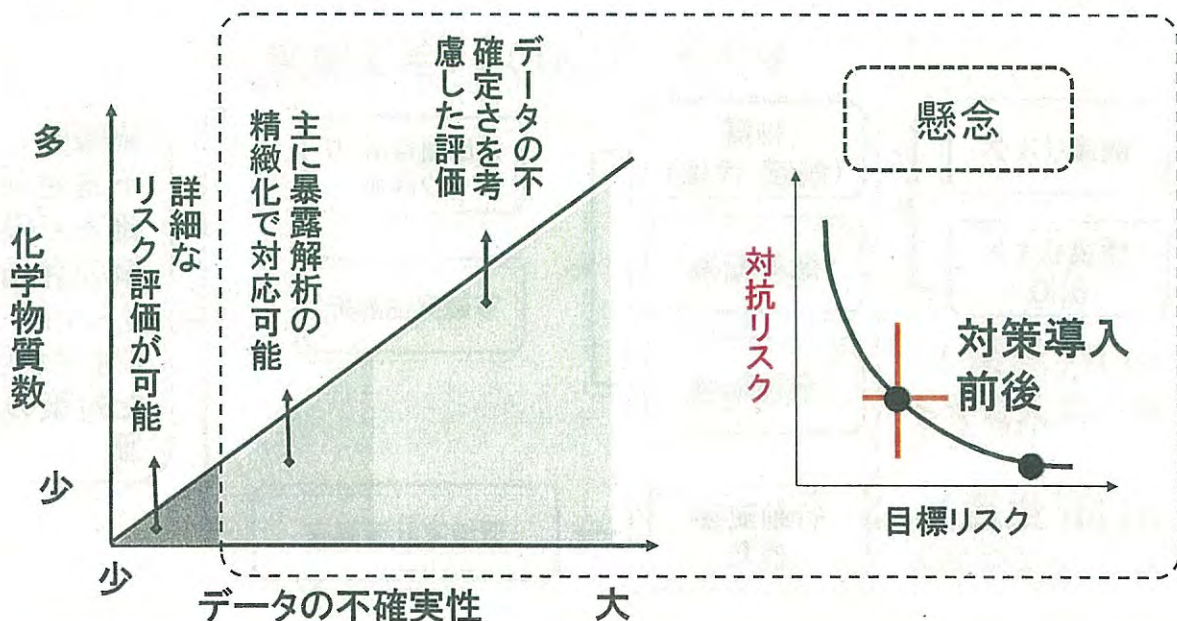
特任研究員：中澤 暦、和田直樹、中久保豊彦、
山口治子、八尾哲史

累積予算額：5,112万円
直接経費： 3,604万円
間接経費： 1,508万円

1

研究開発の背景 ～新しいリスク評価法のニーズへの対応

リスクに基づいた化学物質管理が推進される一方で、新たな課題も明らかになってきた。



2

研究開発目標

(1)データの不確定性が対策決定に与える影響やリスクトレードオフへの対応にむけたリスク評価を補完する評価手法を開発すること。

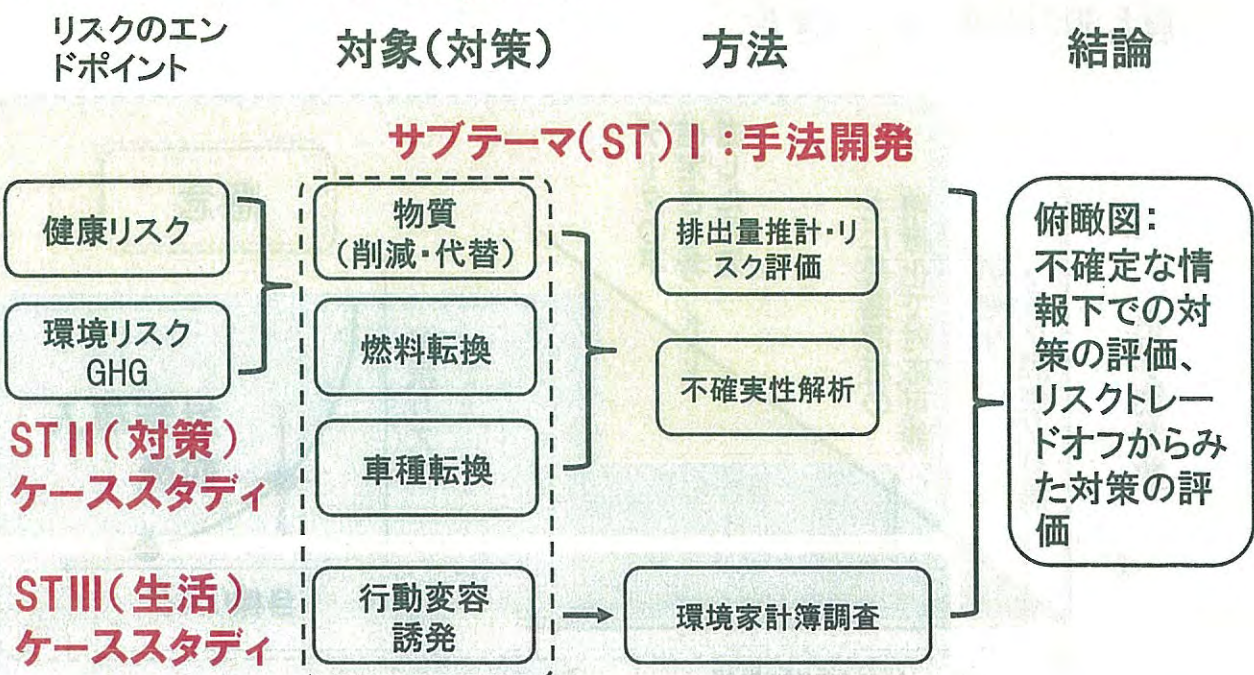
(2)この手法の適用性を、自動車由来の負荷対策の評価を通じて検討すること。

3

研究の全体像

自動車:環境対策に多大な蓄積

サブテーマと体制(阪大)



4

ST I :手法開発を目的とし、リスク評価と不確実性解析からなる手法を検討*。
 対象:DecaBDEの暴露量削減対策。感度解析から総摂取量への最大寄与は焼却炉から大気への排出係数を特定。そこで、焼却炉からの大気への排出係数の不確実性に対数正規分布を与えて解析。暴露媒体としては葉菜摂取。

リスク評価:生産・使用・廃棄過程を対象



不確実性解析:

①大気への排出係数の不確実性を反映した解析

排出量=>環境媒体濃度=>暴露媒体濃度=>摂取量=>必要削減量=>対策量

※対策量=政府対策+市民による対策

対策費用=政府対策量×政府対策単価+(必要削減量-政府対策量)×市民による対策単価

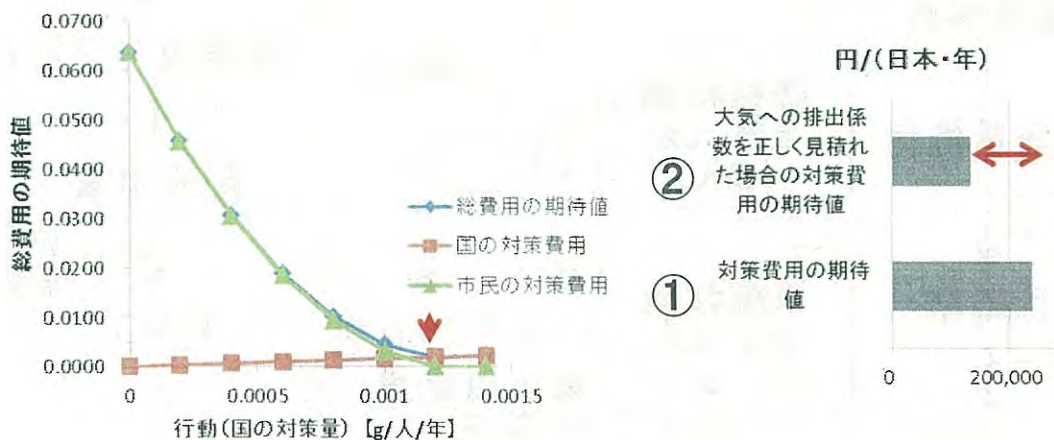
②大気への排出係数が正確に把握できれば過不足ない対策が実施できると仮定*

※対策費用=政府対策量×政府対策単価

*情報の価値解析の理論に依拠

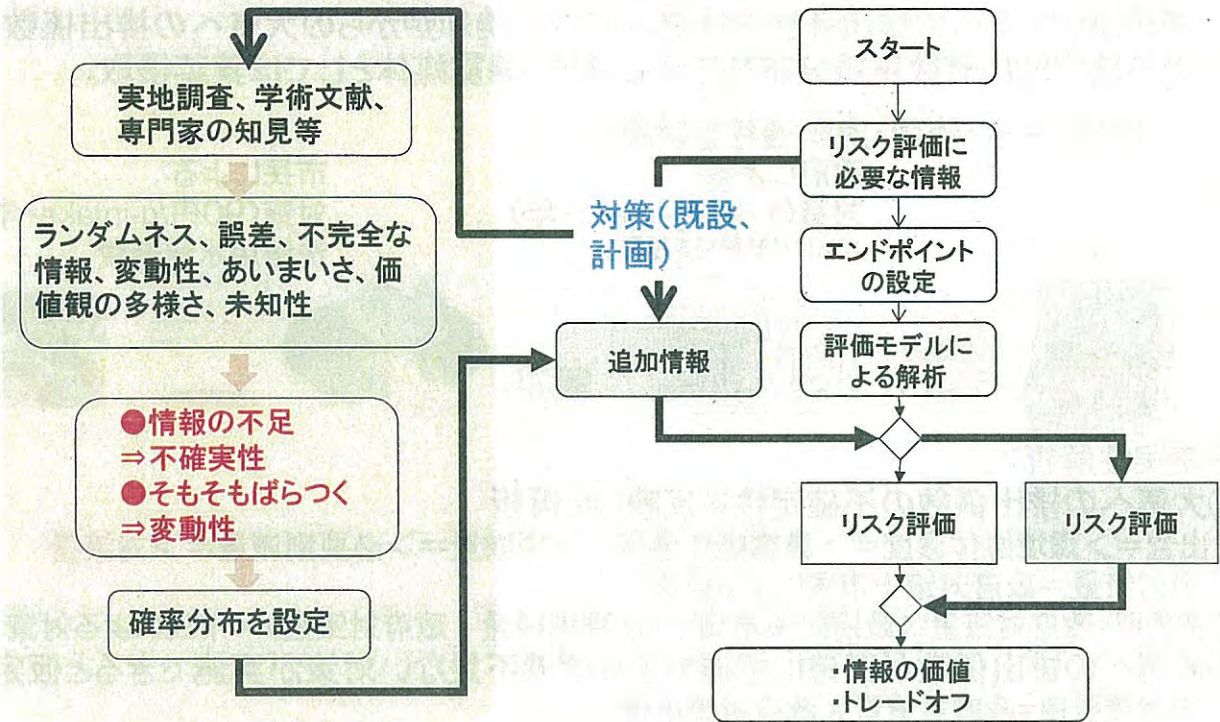
5

不確実性解析:不確定だがクリティカルに寄与するパラメータ(大気への排出係数)をより精緻に把握するためにかかる費用の上限値、すなわち、**情報収集の優先性を定量的に**しめしたことに相当。

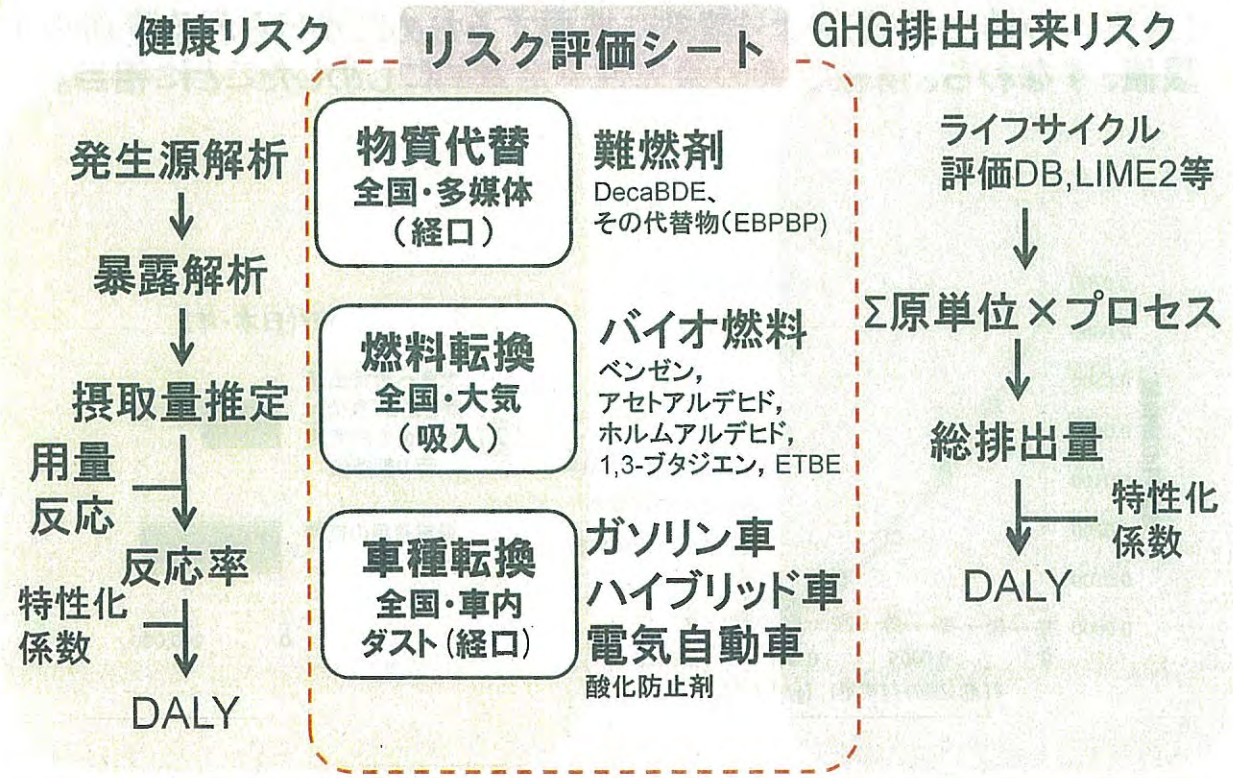


6

ST I のまとめ: 耐リスク性評価手法



ST II : 適用性の検討のため、3種類の対策に適用



リスク評価の分析枠組み

対策の種類	評価の枠組みと評価モデル	危害因子	エンドポイント	不確実性解析	
物質代替 DecaBDEのEBPBP代替(2006→2009年)実施	化学物質	多重経路暴露 ・サブスタンスフロー分析 ・多媒体環境動態モデル	DecaBDE, EBPBP	経口暴露による非発がん影響	モデルパラメータの分布を用いてモンテカルロシミュレーション
	GHG排出	難燃剤の国内需要	二酸化炭素(CO ₂)	熱ストレスによるヒト健康影響	原単位のばらつきにより評価
車種代替 ガソリン普通車のハイブリッド車/電気自動車代替(2010→2030年)METI計画	化学物質	2010から2030年までの車種別普及割合のシナリオ設定, 車種別自動車重量推定 ・コーホート型保有台数推定モデル	酸化防止剤(2,6-ジ-tert-ブチル-p-クレゾール:BHT)	車内経口暴露による非発がん影響	暴露係数の変動を考慮してモンテカルロシミュレーション
	GHG排出	普通自動車のライフサイクル由来の排出: 製造, 石油精製, 維持管理, 固定費, 走行	二酸化炭素(CO ₂)	熱ストレスによるヒト健康影響	原単位のばらつきにより評価
燃料代替 ガソリンのETBE7%代替(2010年, 燃費置換)METI計画	化学物質	全車種の排ガスに含まれる化学物質の大気排出 ・ADMER	アセトアルデヒド, 1,3-ブタジエン, ベンゼン, ホルムアルデヒド	大気経由の吸入暴露による発がん影響	人口の空間分布と大気暴露分布による評価
	GHG排出	全車種からの燃料消費に伴う排出	二酸化炭素(CO ₂)	熱ストレスによるヒト健康影響	原単位のばらつきにより評価
燃料代替 ガソリンのE10代替(2010年, 燃料置換)環境省計画	化学物質	同上			
	GHG排出				
車種燃料代替 ガソリン普通車のディーゼル乗用車代替(2010年, 燃料置換/車種置換)METI計画	化学物質	全車種からの排ガスに含まれる化学物質の大気排出 ・ADMER	SPM (SPM中の元素状炭素)	大気経由の吸入暴露による発がん影響	人口の空間分布と大気暴露分布による評価
	GHG排出	全車種からの燃料消費に伴う排出	二酸化炭素(CO ₂)	熱ストレスによるヒト健康影響	原単位のばらつきにより評価

リスク評価シートの作成: 必要情報の整備

物質代替(デカブロモジフェニルエーテル→エチレンビスペンタブロモフェニル)

◆背景

DecaBDEは、臭素系ダイオキシンの排出抑制を目的として段階的廃止がなされた。難燃剤の国内需要量をみると、DecaBDEの削減量を補うようにEBPBPの需要量が増加に転じている。また、EBPBPは、分子構造に占める臭素原子数がDecaBDEと等しいため、化学量論的にほぼ等価な難燃効果を有していると考えられる。このことからDecaBDEの代替物としてEBPBPを選択した。

◆リスクレベルと不確実性因子(2006年)

	DecaBDE			最も寄与する不確実性因子
	低程度 (5%タイル値)	中程度 (代表値)	高程度 (95%タイル値)	
国内需要量	—	1,700 t	—	報告値
有害化学物質由来のヒト健康リスク				
大気排出量[t/year]	0.0599	0.0717	0.0835	焼却段階の大気排出係数
経口暴露量[ng/kg/day]	0.161	0.201	0.244	葉菜摂取量
エンドポイント	純度 94-97%の DecaBDE, 103 週間連続経口投与, 雄 2240 mg/kg/day で肝臓における血栓症と変性			代用値: 純度 77%の DecaBDE での NOAEL は 1.0 mg/kg/day (肝臓肥大)
NOAEL[ng/kg/day]	—	1,120	—	
MOE(経口)	6.96×10^9	5.57×10^9	4.59×10^9	暴露量の変動幅に由来
不確実性係数	10(種差) × 10(個体差)			—
ヒト健康リスク[year_DALY/年]	1.41×10^{-15}	1.76×10^{-15}	2.14×10^{-15}	暴露量の変動幅に由来
地球温暖化ガス由来のリスク				
温室効果ガス排出原単位 [kg_CO2/kg_DecaBDE]	—	1.367	—	報告値
温室効果ガス排出量あたりの DALY 上昇値[year_DALY/t_CO2]	1.13×10^{-5} (Individualist)	2.55×10^{-4} (Hierarchist)	1.76×10^{-2} (Egalitarian)	代用値: 8.00×10^{-5} , 1.63×10^{-4} , 2.87×10^{-4}
温室効果ガス由来のリスク [year_DALY/年]	0.0263	0.593	40.9	温室効果ガス排出量あたりの DALY 上昇値の幅に由来
科学的知見の充足度	有害化学物質由来のヒト健康リスク: 多媒体環境動態モデルを用いた暴露推定では、高程度と代表値の差は 1.2 倍程度である。また、暴露推定値と実測値はファクター10以内となっている。NOAEL にかかる不確実性係数は 100 である。 地球温暖化ガス由来のリスク: 温室効果ガス排出原単位は利用可能なデータが一点しかない。また、温室効果ガス排出量あたりの DALY 上昇値は、高程度から低程度に 3 桁の違いがあり、代用値についてもその範囲内に収まっている。			

リスク評価シートの作成(つづき)

	EBPBP			最も寄与する不確実性因子
	低程度 (5%タイル値)	中程度 (代表値)	高程度 (95%タイル値)	
国内需要量	—	6,000 t	—	報告値
有害化学物質由来のヒト健康リスク				
大気排出量[t/year]	0.399	3.54	6.75	使用段階(樹脂)の大気排出係数
経口暴露量[ng/kg/day]	0.611	5.07	10.8	葉菜摂取量
エンドポイント	SD ラット 90 日間摂餌投与、小葉中心性の肝細胞の空洞化			代用値。SD ラット 28 日間反復経口投与での NOAEL と同値(非常に弱い全身毒性と僅かな肝重量変化)
NOAEL[mg/kg/day]	—	1,000	—	
MOE(経口)	7.69×10^9	6.17×10^9	5.10×10^9	暴露量の変動幅に由来
不確実性係数	10(種差)×10(個体差)×3.2(実験観察期間)			—
ヒト健康リスク[year_DALY/年]	1.98×10^{-14}	1.65×10^{-13}	3.50×10^{-13}	暴露量の変動幅に由来
地球温暖化ガス由来のリスク				
温室効果ガス排出原単位 [kg_CO2/kg_DecaBDE]	—	1.367	—	DecaBDE の値を援用
温室効果ガス排出量あたりの DALY 上昇値 [year_DALY/t_CO2]	1.13×10^{-5} (Individualist)	2.55×10^{-4} (Hierarchist)	1.76×10^{-2} (Egalitarian)	代用値。{ 8.00×10^{-5} , 1.63×10^{-4} , 2.87×10^{-3} }
温室効果ガス由来のリスク [year_DALY/年]	0.0927	2.09	144	温室効果ガス排出量あたりの DALY 上昇値の幅に由来
科学的知見の充足度	有害化学物質由来のヒト健康リスク：多媒体環境動態モデルを用いた暴露推定では、高程度と代表値の差は 2.1 倍程度である。利用可能な暴露情報に係る実測値はない。NOAEL にかかる不確実性係数は 320 である。 地球温暖化ガス由来のリスク：利用可能な温室効果ガス排出原単位はないため、DecaBDE の値を採用している。温室効果ガス排出量あたりの DALY 値に関する知見の充足度は、DecaBDE と同じ。			

◆リスクトレードオフ分析

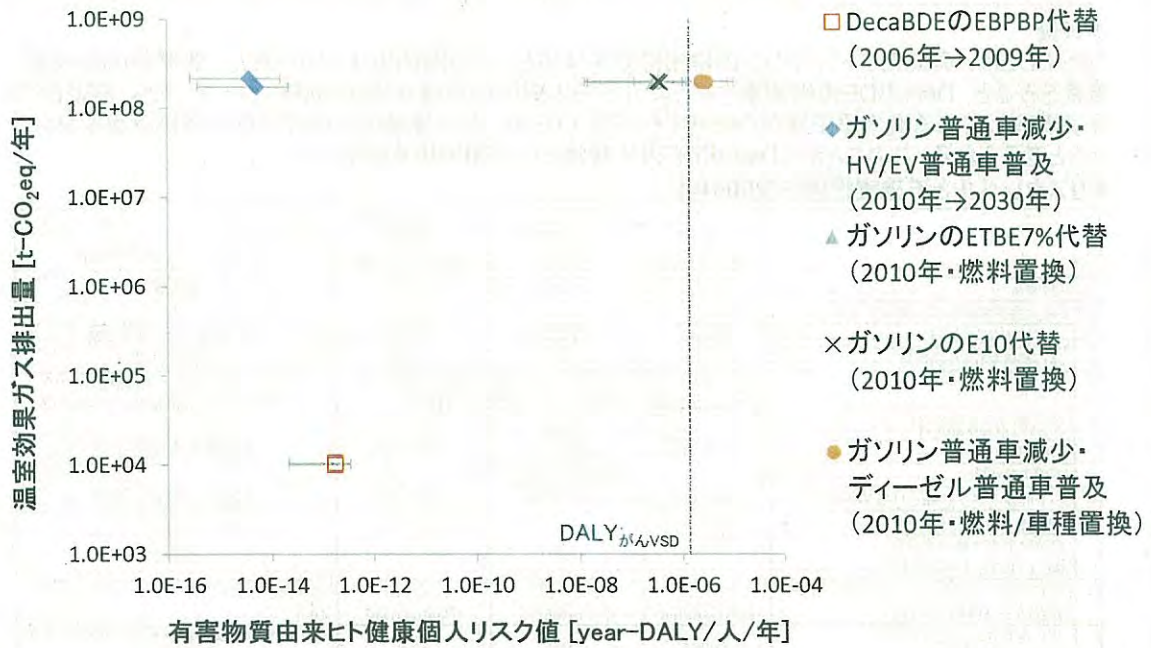
化学物質由来のヒト健康リスク [year_DALY/年] の算出

$$\Delta Risk = \frac{\{Risk_{chem}(DecaBDE, 2009) + Risk_{chem}(EBPBP, 2009)\} - \{Risk_{chem}(DecaBDE, 2006) + Risk_{chem}(EBPBP, 2006)\}}{2009 - 2006}$$

温室効果ガス由来のリスク [year_DALY/年] の算出

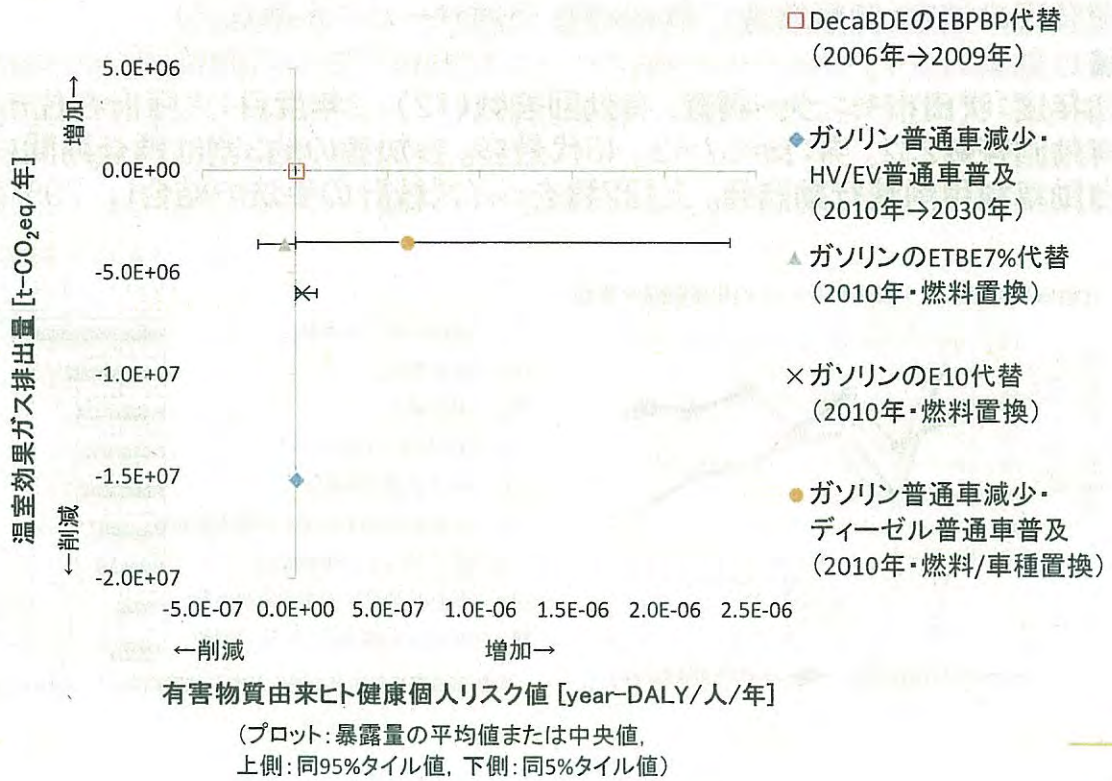
$$\Delta Risk = \frac{\{Risk_{GHG}(DecaBDE, 2009) + Risk_{GHG}(EBPBP, 2009)\} - \{Risk_{GHG}(DecaBDE, 2006) + Risk_{GHG}(EBPBP, 2006)\}}{2009 - 2006}$$

耐リスク性評価結果 ~総計値でみたトレードオフの俯瞰



(プロット: 暴露量の平均値または中央値, 上側: 同95%タイル値, 下側: 同5%タイル値) ※DALY_{がVSD} = 1.3×10^{-6} (= $10^{-5} \times 9.339$ [year-DALY/件]/70[年])

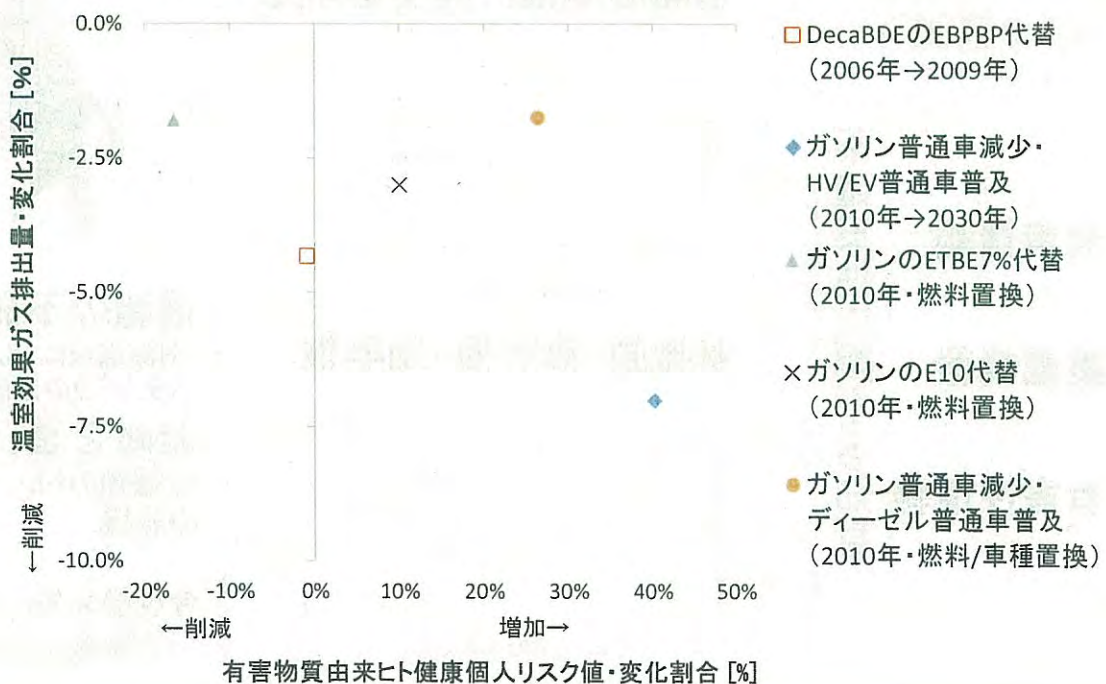
耐リスク性評価結果～(対策後-対策前)でみたトレードオフの俯瞰



13

耐リスク性評価結果

(対策後-対策前)/対策前・・・対策の効率性指標



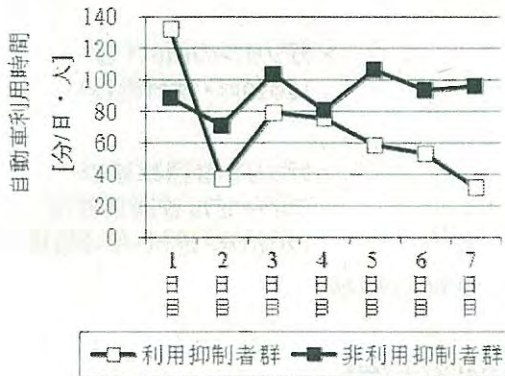
14

ST III

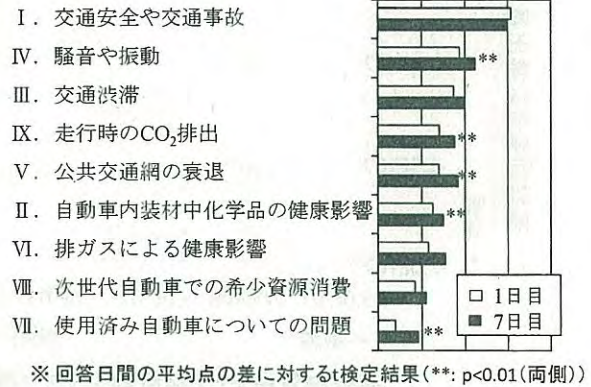
■交通行動変容調査(67)のメタ解析を実施。行動変容効果(14%削減)の支配要因の推定(健康増進、環境改善、交通サービス水準など)

■自動車のライフサイクルを通じたリスク認知に関する質問紙調査の実施。
初年度:吹田市モニター調査、有効回答数(72)。2年度目:大阪府在住市民:有効回答数232。男:女=57:43。40代最多。参加者の約3割は調査期間中に自動車利用削減行動誘発。上記2種をベイズ統計の手法で結合し、29%変容。

自動車利用者1人1日あたりの平均利用時間の推移



環境リスク認知得点



成果のまとめ

道標としての【耐リスク性評価・結果】

活用する情報
【リスク評価シート】

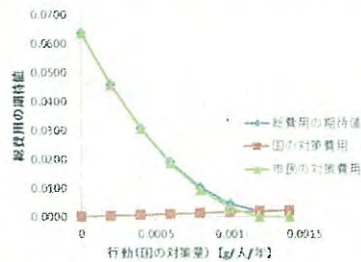
対策情報

暴露情報

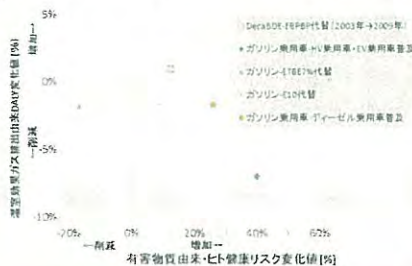
有害性情報

不確実性に関する知見

情報の価値に関する知見



俯瞰図: 総計値・効率性



情報の不確定

・対策選択において効くパラメータの量的評価

俯瞰を通じた

・2種類のトレードオフの態様

今後優先的に収集すべき情報の方向付け

科学的意義・環境政策への貢献

(1)リスク評価を補完する「耐リスク性評価手法」をDecaBDEの暴露削減対策を例にして、クリティカルパスに寄与する焼却炉から大気への排出係数を正確に推定するという情報の価値解析のプロトタイプを構築した。この解析を通じ、これまで明示的ではなかった更なる情報収集の優先順位付けに数値表現で根拠を与えることが可能となった。

(2)3種類の対策(物質代替、燃料代替、製品代替)を対象にリスク評価シートを作成するとともに、健康リスク、GHG由来の健康リスクについてリスクトレードオフの態様を解明した。これは、トレードオフから見た各対策の相対的な位置を把握する方法の雛形であり、今後解析事例が蓄積されていくことで対策評価に関する知的基盤としての利用が期待できる。

17

ありがとうございました

大阪大学

18