

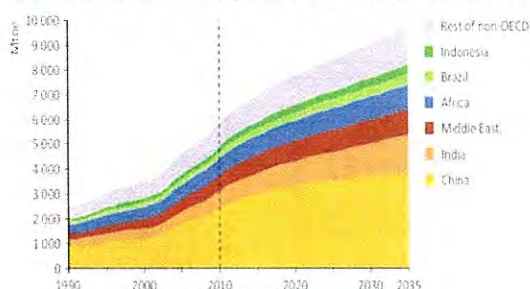
## E-1001: アジア低炭素社会の構築に向けた緩和技術のコベネフィット研究

研究課題代表者 筑波大学 内山洋司

### アジア諸国のエネルギー・環境問題

#### 増大するエネルギー消費とGHG排出量

- エネルギー消費の年平均伸び率(1981~2011): 5.82%
- 電力供給(2011):  
設備容量10億6千万kW  
年間発電量4兆7千億kWh
- 地球温暖化ガスの大量放出



#### 深刻化している環境汚染

- 大気汚染物質の放出 (PM2.5、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>)
- 大規模な耕地の占有と破壊
- 水資源の汚染 (重金属の廃棄)



# 研究目標および目的

## 【目標】

環境外部性の経済的価値付け(コベネフィット)を取り入れてCO<sub>2</sub>の各種緩和技術を統一的な評価手法によって分析し、アジア諸国における日本の技術移転政策に役立てる。

## 【目的】

2030年までのアジア諸国における再生可能エネルギー、先進火力発電技術、CO<sub>2</sub>回収貯留技術などの緩和技術の普及と日本からの技術移転の効果をコベネフィットを含めて定量的に明らかにする。

【サブテーマ1】 中国、インド、カザフスタンなどアジア地域の数地点におけるCDMなどの緩和プロジェクトを想定し、技術オプション毎に地域レベルで推定されたCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>等のライフサイクル排出削減量と導入ポテンシャルを推計する。

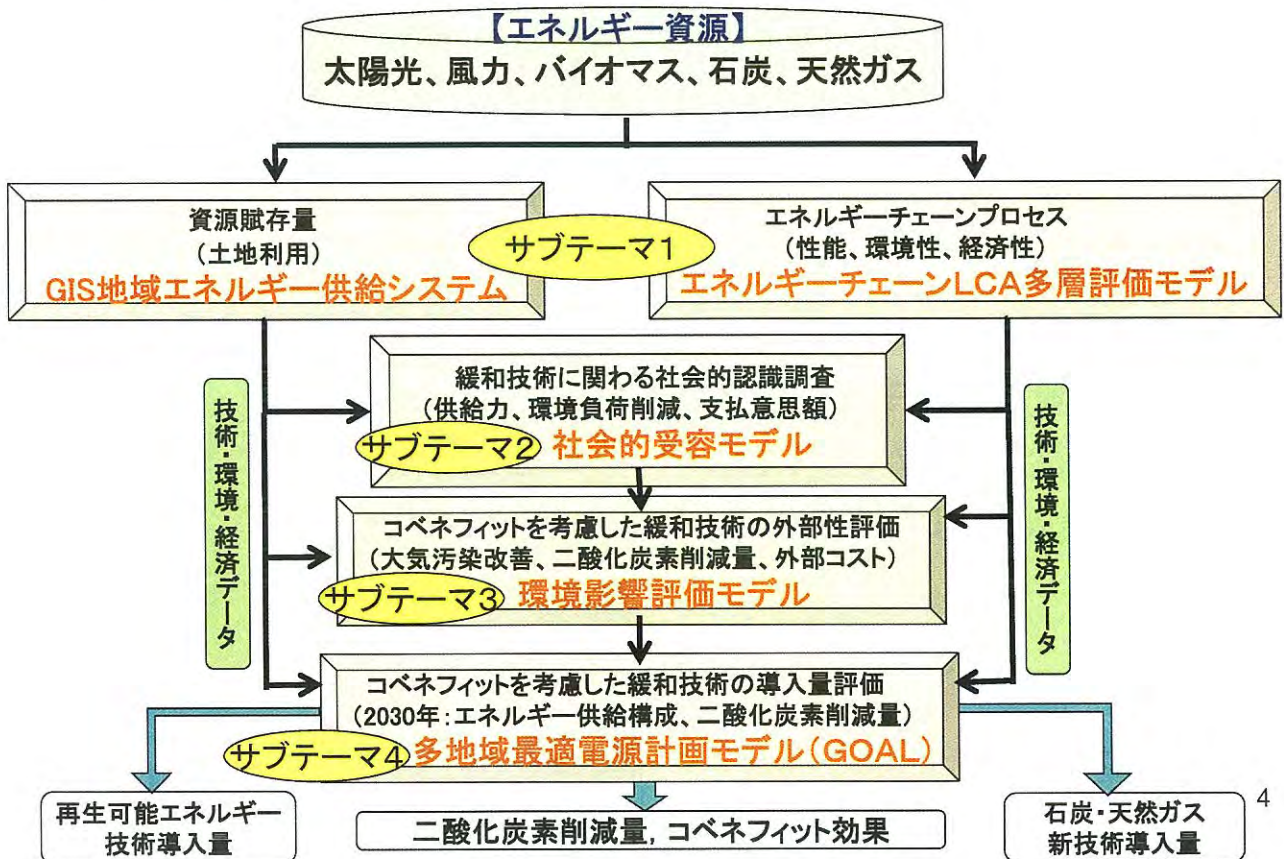
【サブテーマ2】 緩和プロジェクトによる大気汚染の改善、廃棄物の削減、健康被害の軽減など副次効果を経済価値換算する係数を社会調査により定量的に明らかにする。

【サブテーマ3】 副次効果の経済価値換算から得られるコベネフィットを緩和技術ごとに地域性や燃料種などの前提条件を変えて評価する。

【サブテーマ4】 サブテーマ3までのボトムアップデータを基にして、マクロかつ長期的な視点からアジア地域における技術移転をコベネフィットを含めて評価する。

3

## 分析方法: 緩和技術のコベネフィット研究手法



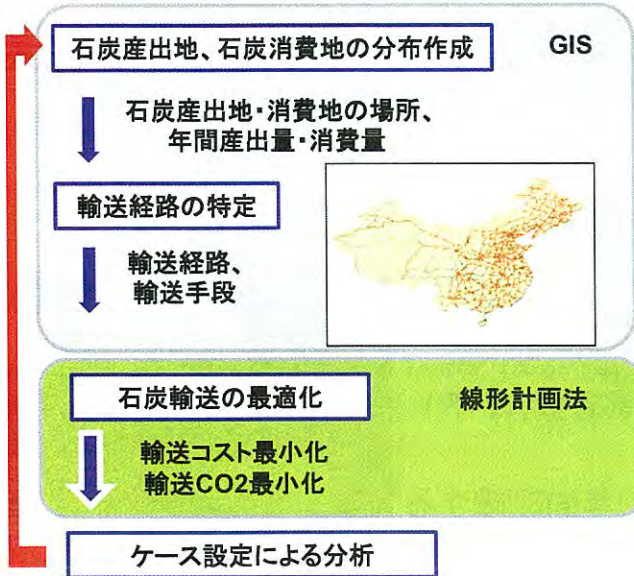
4

# 【サブテーマ1】エネルギーチェーンLCAモデルおよび地理情報システムによるアジア主要地域における各技術オプションの検討

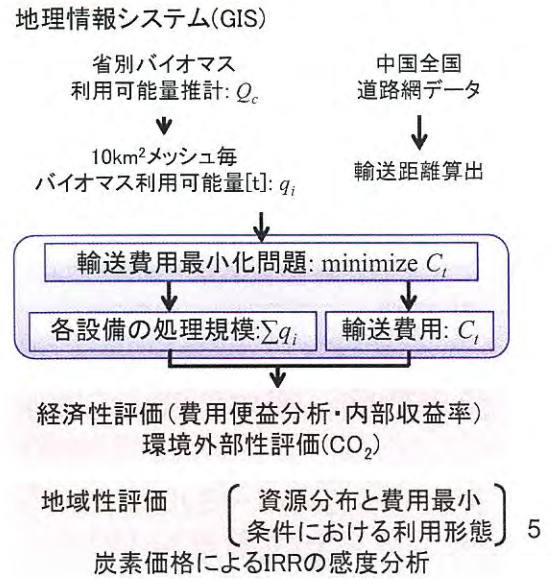
地理情報システム(GIS)を用いたLCA評価・大気汚染物質暴露量評価の面的展開

- 【課題1】 先進火力発電技術ライフサイクル評価
- 【課題2】 再生可能エネルギー導入評価
- 【課題3】 供給技術からの排出評価

## 【課題1】手法例:石炭燃料輸送最適化評価



## 【課題2】手法例:バイオマス導入評価



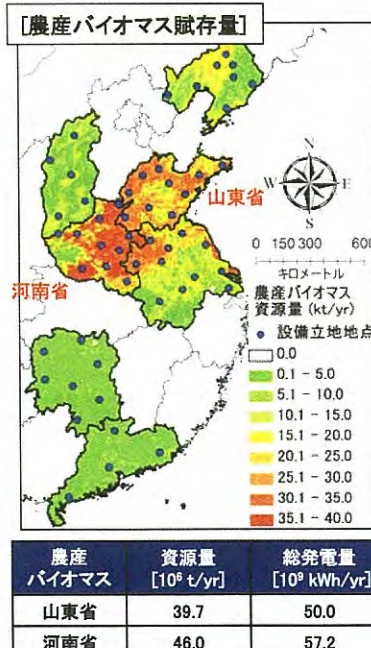
## 結果の概要

### 【課題1】評価結果例: 石炭輸送最適化, 先進火力導入



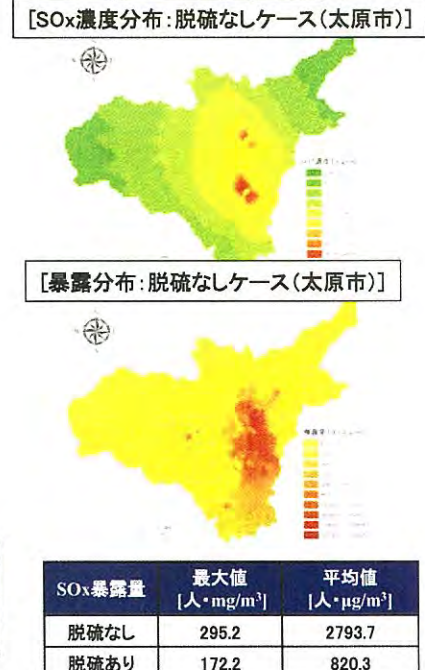
USC導入:「輸送最適化」+「高効率化による消費石炭量低減」による削減

### 【課題2】評価結果例: バイオマス評価



電力消費量に対する割合:最大29% (発電効率30%ケース)

### 【課題3】評価結果例: SOx暴露分布評価



最大値で約4割の低減 (山西省太原市)

# 【サブテーマ2】緩和技術に関わる社会的認識についての調査・分析

【概要】CDMプロジェクトによる**副次的効果**を経済価値換算係数推定に向けた社会調査を実施・分析



評価対象: 大気汚染に起因する呼吸器系疾患による死亡  
 評価手法: 仮想評価法(Contingent Valuation Method; CDM)  
 評価地点: CDMプロジェクトが想定される中国国内から選択

平成22年度: 北京市中心部(大都市)  
 平成23年度: 山西省太原市、運城市、晋城市の郊外(農村部)  
 平成24年度: 山西省陽泉市(地方都市) ← 調査終了/分析中

## 【社会調査の方法】

調査方法: 訪問面接法  
 世帯抽出法: 二段サンプリング系統抽出  
 (調査地点で多段サンプリングに基づき住居を訪問)  
 面接数: 550件~700件 (年度により若干変化)  
 主要質問手法: 仮想評価法(CVM; Contingent Valuation Method)  
 評価項目: 死亡率減少に対する支払意思額(WTP)



予備調査実施風景 7

## 【結果概要】

死亡率が0.5パーミル減少することが10年間継続することに対する支払意思額(WTP) → 1,150元~1,300元

## 【質問方法】

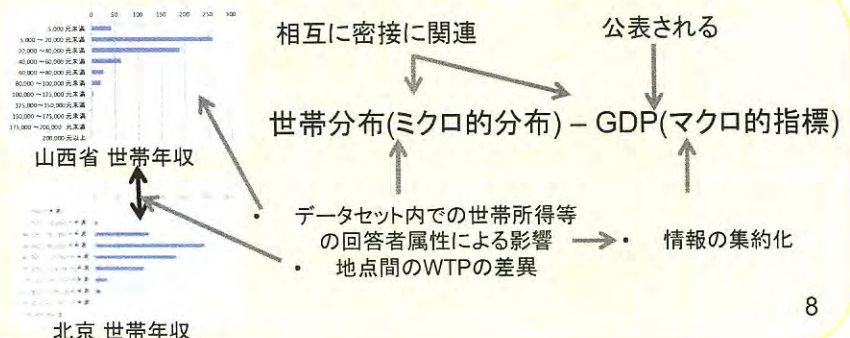
大気汚染減少について直接聞くのではなく「吸入器+薬剤」への支払意思額を質問  
 シナリオと価格を提示し、購入意志の有無を二肢選択で質問。金額を変更して3回反復  
 → 公共財への**フリーライダーを回避**  
 → 政府(政策)に対する意見表明(批判)も結果的に回避 (中国要因の緩和)

## 【分析結果例】

分析は、対数ロジスティックモデルをデータに適用して実施  
**支払意思額への依存要因の分析**  
 ・北京の方が支払意思額高しかし所得差程ではない  
 ・世帯年収/学歴へ依存関係が統計的に有意(一部妥当性を再検討中)  
**障害調整生命年 (DALY: Disability-Adjusted Life Expectancy) への換算**  
 ・換算への考え方によりもよるが、**6万円/DALY**程度と考えるのが妥当  
 (100万円/DALY)

## 【サブテーマ間連携】

ミクロ的分析から  
 マクロ的な展開へ



# 【サブテーマ3】新オフセット・メカニズムにおける緩和技術のコベネフィットを考慮した技術的経済的評価

## 【実施目標】

- コベネフィットを考慮した環境影響評価の、アジア広域へのマクロ的、面的展開
- ① 中国をミクロに深耕するサブテーマ1-2と、アジア広域の2030年頃までを対象とするマクロなサブテーマ4とを橋渡しする役割を担う。
  - ② コベネフィットを含む環境被害の経済評価をアジア広域の将来において可能とすることを目的し、日本の現在を対象とするLIME ( Lifecycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) を改良し、適用の方法を検討する。
  - ③ 統計学的な精緻さを志向するサブテーマ2との補完関係(妥当性の規範)をはかり、政策担当者が志向する行政ニーズに簡易に応えられる経済評価手法を開発する。

|        | サブテーマ2     | サブテーマ3               |
|--------|------------|----------------------|
| 志向     | 統計学的精緻さ    | 政策支援                 |
| 対象国・地域 | 中国         | 中国、インド、東南アジア         |
| 調査対象   | 人間健康       | 人間健康、社会資産、生物多様性、一次生産 |
| 手法     | 仮想評価法      | コンジョイント分析、便益移転       |
| 社会調査   | 訪問面接       | インターネット              |
| 調査件数   | 3都市、各6-700 | 11都市、各100            |

## 【得られた成果】

1. LIME適用のための限界支払意志額をアジアの複数都市において得ることができ、**社会調査の手法を確立**できた。
2. 広範囲にわたる同時の社会調査、便益移転の研究は、国内には蓄積がない。本研究は、**アジア広域において統一的な方法で限界支払意志額を調査し、便益移転関数を構築した初の研究**となる。

# 調査方法と結果の概要

## 調査票

**人間の健康**

人間が生きてゆくためには、清潔な環境ではなく、良い環境が必要です。

環境問題による健康被害を防ぐには、家や医院、公共衛生の整備が必要です。

環境問題によって、人間の健康は損なわれています。

健康への被害は、毎日の生活の中で蓄積されていくものです。環境問題による健康被害は、毎日の生活の中で蓄積されていくものです。環境問題による健康被害は、毎日の生活の中で蓄積されていくものです。

【第1問】  
選択肢1から4のうち、最も望ましいものに、1つだけ○を付けて下さい。

|                     | 選択肢1<br>被害額0<br>(100%削減) | 選択肢2<br>被害額0<br>(100%削減) | 選択肢3<br>被害額25<br>(75%削減) | 選択肢4<br>被害額100<br>(被害放置) |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 人間の健康の被害額           | 被害額0<br>(100%削減)         | 被害額0<br>(100%削減)         | 被害額25<br>(75%削減)         | 被害額100<br>(被害放置)         |
| 人間の生活に必要な資源の被害額     | 被害額25<br>(75%削減)         | 被害額0<br>(100%削減)         | 被害額50<br>(50%削減)         | 被害額100<br>(被害放置)         |
| 生物の被害額              | 被害額50<br>(50%削減)         | 被害額0<br>(100%削減)         | 被害額0<br>(100%削減)         | 被害額100<br>(被害放置)         |
| 植物の被害額              | 被害額25<br>(75%削減)         | 被害額75<br>(25%削減)         | 被害額50<br>(50%削減)         | 被害額100<br>(被害放置)         |
| 支払い額<br>(毎年、1世帯あたり) | 1.5万円                    | 2万円                      | 1万円                      | 資金提供は<br>しない(0円)         |

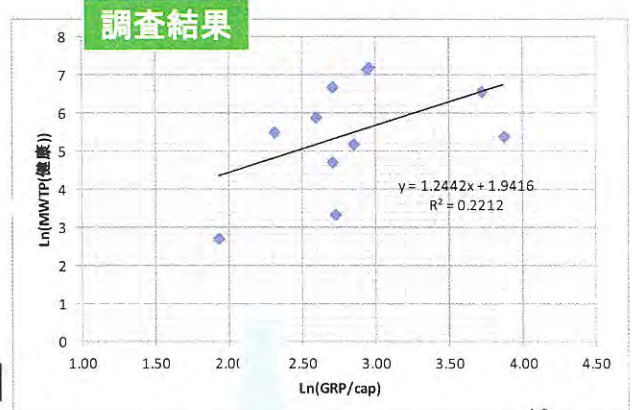
人間健康、社会資産、生物多様性、一次生産の各々に対する回答から、**支払意志額をコンジョイント法で推定**。

11地点の支払意志額と一人当たり地域総生産(や環境汚染度)との関係から、**便益移転関数を推定**。両対数を用いて**支払い意思額の一人あたり地域総生産の弾性値**を求め、サブテーマ4の入力値とした。

## 調査地点



## 調査結果



# 【サブテーマ4】アジア地域におけるコベネフィットを考慮した緩和技術の導入分析

サブテーマ3までのボトムアップデータに基づく、コベネフィットを含めたマクロな導入分析

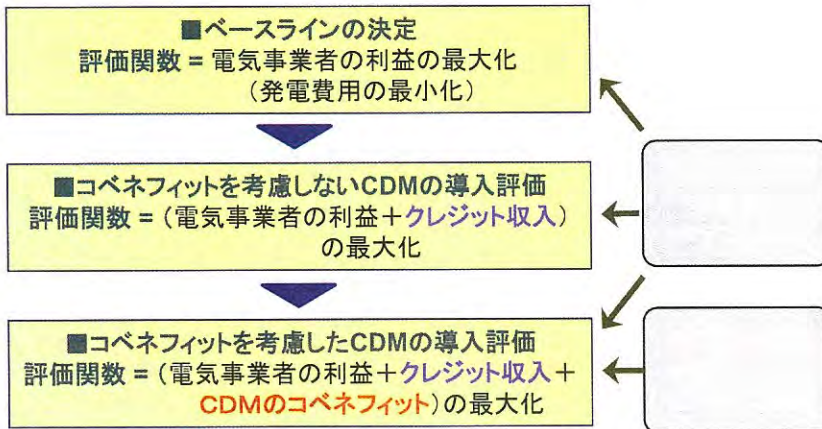
【課題1】 データベース整備

【課題2】 評価モデルの開発

【課題3】 中国、インドにおけるケーススタディ

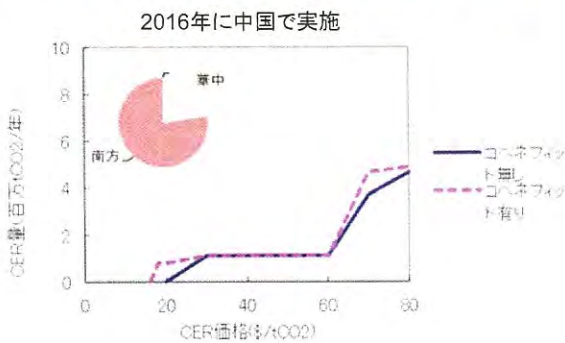
## 【評価モデルの概要】

複数の電力網から構成される電力システムの線形最適電源構成モデル

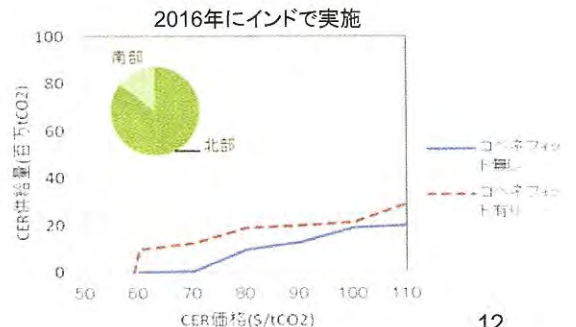
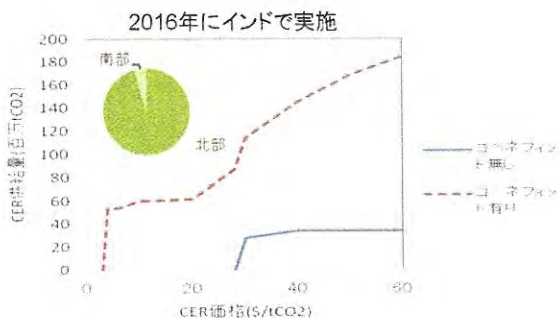
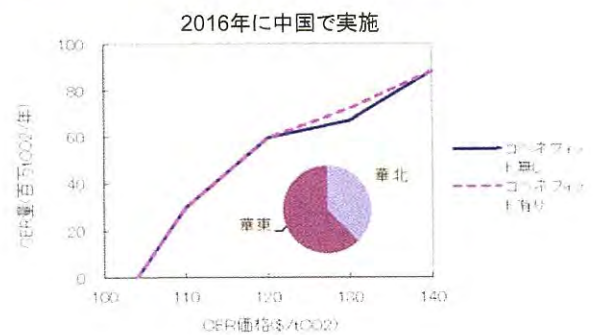


## 結果の概要

### 【ケーススタディ1 超々臨界石炭火力】



### 【ケーススタディ2 太陽光発電】



# まとめ

- コベネフィットを考慮した環境外部性の統合評価手法を開発  
CDM技術のエネルギーシステムについてCO<sub>2</sub>排出量の緩和だけでなく大気汚染など環境影響の外部コストを評価。  
（“点”データ⇒“線”ネットワーク⇒“面”マクロ評価）
- アジア諸国を対象に分析  
中国やインドなど経済成長が著しく、エネルギー消費が増大しているアジア諸国・地域で分析し、データベースを構築。  
（中国：6地域、インド：2地域、カザフスタン）
- 各種環境影響因子に対する支払意志額による外部コストの推計  
PM2.5など大気汚染物質による健康影響だけでなく、社会資産、生物多様性、一次生産の外部コストをアジア諸国を対象に初めて分析。
- 各種CDM技術についてのコベネフィット効果を評価  
先進石炭火力発電（超々臨界圧、IGCC、CO<sub>2</sub>回収）、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電などの発電技術について、2030年までのコベネフィット効果を分析。

13

## 研究の政策的含意

- 高効率石炭火力発電プラント（USC,IGCC）の積極的な導入と、石炭から天然ガスへの燃料シフト
- 燃料輸送と電力供給網など社会基盤施設の改善と整備
- 再生可能エネルギーのコスト低減と積極的な導入支援策
- ホスト国の立場に立った技術移転の重要性  
「温暖化対策を主とした環境保全のコベネフィット」から  
「環境保全を主とした温暖化対策のコベネフィット」への政策転換

# 研究成果の発表状況(1)

## 【アドバイザーボード会合】

- 1) 第1回: 2010年8月30日、筑波大学東京キャンパス(秋葉原)
- 2) 第2回: 2011年7月8日、筑波大学東京キャンパス(秋葉原)
- 3) 第3回: 2012年8月29日、筑波大学東京キャンパス(茗荷谷)

## 【論文(査読あり)]・・・19件

- 1) 岡島敬一、上野博史、内山洋司: 日本LCA学会、6,2,295-3021 (2010)  
「中国・インド諸地域を対象とした先進発電技術導入のエネルギーチェーン多層評価」
- 2) H. Samuta, Y. Uchiyama and K. Okajima: Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), A263, 1-6 (2011)  
"Evaluation for the Adoption of Renewable Energy in China using Geographic Information System"
- 3) A. Akhmetov, Y. Uchiyama and K. Okajima: Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), A078, 1-6 (2011)  
"Wind Power Development in Kazakhstan: Potential and Obstacles"
- 4) K. Okajima, H. Ueno and Y. Uchiyama: Proceedings of the International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), 243, 875-884 (2011)  
"Optimization Analysis of Coal Transportation for Introducing Advanced Coal-Fired Power Generation Technology in China"
- 5) A. Akhmetov, Y. Uchiyama and K. Okajima: Proceedings of the International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), 174, 115-123 (2011)  
"Multi-Criteria Decision Analysis for Assessment of Wind Power in Kazakhstan"
- 6) M. Kawase, K. Okajima, Y. Uchiyama: Proceedings of the International Conference on Applied Energy (ICAE2012), A263, 1-6 (2012)  
"The Geographical Distribution of the Available Area for Large-scale Photovoltaic Energy-potential Evaluations in Liaoning, China"
- 7) M. Kawase, K. Okajima, Y. Uchiyama: Journal of Renewable Energy. (submitted)  
"Evaluation of Potential Geographic Distribution for Large-scale Photovoltaic System in Suburbs of China",

15

# 研究成果の発表状況(2)

## 【論文(査読あり)]

- 8) Ryo, Eto., Akinobu, Murata.,Yohji, Uchiyama. and Keiichi, Okajima.: Journal of Energy and Power Engineering, 6, 1925-1934 (2012).  
"Inclusion of co-benefits in the CDM of the power generation sector: A case study for India"
- 9) Ryo, Eto., Yohji, Uchiyama. and Keiichi, Okajima: Journal of Energy and Power Engineering (in press)  
"Estimating the impacts of nuclear phase-out and FIT on Tokyo Electric Power Company jurisdiction"
- 10) Ryo, Eto., Akinobu, Murata.,Yohji, Uchiyama. and Keiichi, Okajima: The Tenth IASTED European Conference on Power and Energy Systems, June 22-24, 2011, 414-420, Crete, Greece  
"Co-benefits of internalizing local air pollution costs in India's power sector"
- 11) Ryo, Eto., Akinobu, Murata.,Yohji, Uchiyama. and Keiichi, Okajima: Sixth Dubrovnik conference on sustainable development of energy water and environment systems, September 25-29, 2011, NO.382, 1-13, Dubrovnik, Croatia.  
"Assessment of co-benefits from CDM projects for India's power sector"
- 12) Ryo, Eto., Yohji, Uchiyama. and Keiichi, Okajima: Environmental Management and Conversion (submitting).  
"Quantifying local future energy-related CO2 emissions in the production and consumption accounting principles: a multi-region input-output approach"
- 13) Ryo, Eto., Akinobu, Murata.,Yohji, Uchiyama. and Keiichi, Okajima: Energy Policy (submitting)  
"Co-benefits of including CCS projects in the CDM in India's power sector"
- 14) A.MURATA, E.ENDO: Journal of Energy and Power Engineering, Vol.6, No.7, pp.1022-1034 (2012)  
"Assessment of CDM Activities by a Generation Planning Model of the Chinese Power Grids"
- 15) R. Eto, A. Murata, Y. Uchiyama and K. Okajima : Proceedings of the IASTED International Conference Power and energy Systems (Crete 2011)  
"Co-benefits of internalizing local air pollution costs in India's power sector",
- 16) R. Eto, A. Murata, Y. Uchiyama and K. Okajima: Proceedings of the 6th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (Dubrovnik 2011)  
"Assessment of co-benefits from CDM projects for India's power sector"
- 17) R. Eto, A. Murata, Y. Uchiyama, K. Okajima:, Energy Policy (掲載決定)  
"Co-benefits of including CCS projects in the CDM in India's power sector"

16



# 研究成果の発表状況(3)

## 【論文(査読あり)】

- 18) 野村 昇; 日本エネルギー学会誌 第90巻第1号, (2011)  
「上海市における健康リスクの経済評価」
- 19) Masahiro Nishio, Eiichi Endo, Koji Tokimatsu, Kayo Murakami, Masahiko Aicha, Kentaro Yoshida, Norihiro Itsubo  
Eco Balance 2012, 20-23 November, 2012, Yokohama, Japan  
“Estimating marginal willingness to pay (MWTP) for environmental improvement by co-benefit of global warming mitigation in Asian countries using conjoint analysis and benefit transfer”,

## 【口頭発表(学会等)】・・・21件

- 1) Y.Uchiyama, K.Okajima: POWER KAZAKHSTAN 2010, Almaty, Kazakhstan, 2010  
“Co-benefit Approach of Mitigating Technologies toward developing Low Carbon Society in Asia”
- 2) 上野博史, 岡島敬一, 内山洋司: 第27回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2011)  
「中国での先進火力導入における石炭輸送の地域別環境負荷分析」
- 3) 渡邊 望, 岡島敬一, 内山洋司: 第30回エネルギー・資源学会研究発表会(2011)  
「GISを用いた中国都市域におけるSOx曝露量評価」
- 4) Y. Uchiyama: International Workshop on a Co-Benefits Approach, Hayama, Japan, 2012  
“Co-benefits and Low-Carbon Societies in Asia”
- 5) 川瀬雅士, 岡島敬一, 内山洋司: 第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2012)  
「中国主要都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価」
- 6) 渡邊 望, 岡島敬一, 内山洋司: 第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2012)  
「中国都市域を対象とした先進火力発電技術の導入と外部性評価」
- 7) 佐無田 啓, 内山洋司, 岡島敬一: 第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2012)  
「中国における地域バイオマス発電事業の輸送費用最小化による導入評価」

17

# 研究成果の発表状況(4)

## 【口頭発表(学会等)】

- 8) 岡島敬一, 上野博史, 川瀬雅士, 内山洋司: 日本エネルギー学会第49回石炭科学会議(2012)  
「中国における石炭輸送最適化の検討と先進火力発電導入評価」
- 9) 呉 鏡軒, 川瀬雅士, 岡島敬一, 内山洋司: 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2013)  
「中国内モンゴル自治区における再生可能エネルギーの導入ポテンシャル評価」
- 10) 藤崎美弥, 内山洋司, 岡島敬一: 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2013)  
「中国における太陽電池システム導入のSWOT分析」
- 11) 斉 名, 内山洋司, 岡島敬一: 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2013)  
「中国におけるバイオマス利用に関するSWOT分析」
- 12) 川瀬雅士, 岡島敬一, 内山洋司: 第8回日本LCA学会研究発表会(2013)  
「中国における燃料輸送を考慮した先進火力発電の導入評価」
- 13) 梁 建国, 村田晃伸: 第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(東京, 2012)  
「中国における大気汚染の環境ベネフィットを考慮したCCSの導入分析」
- 14) 野村 昇: 第27回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2011)  
「上海市における環境意識への影響要因の分析」
- 15) 野村 昇: 第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2012)  
「CDM評価のための大気環境価値の調査」
- 16) 野村 昇: 第7回日本LCA学会研究発表会(2012)  
「CDM対象国でのインパクト評価のための大気環境の経済価値換算」
- 17) 野村 昇: 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2013)  
「山西省農村部における環境価値意識の調査」
- 18) 野村 昇: 第8回日本LCA学会研究発表会(2013)  
「CDM ホスト国における大気環境の経済価値調査」

18

# 研究成果の発表状況(5)

## 【口頭発表(学会等)】

- 19) Kayo Murakami, Masahiro Nishio, Eiichi Endo, Kentaro Yoshida, Norihiro Itsubo: The 2nd Congress of East Asian Association of Environmental and Resource Economics, 2-4 February, 2012, Bandung, Indonesia  
"Estimating marginal willingness to pay (MWTP) for environmental improvement by co-benefit of global warming mitigation in Asian countries using conjoint analysis and benefit transfer",
- 20) Koji Tokimatsu, Eiichi Endo, Masahiro Nishio, Kayo Murakami, Masahiko Aicha, Kentaro Yoshida, Norihiro Itsubo The 3rd Congress of East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE 2013), 20-22 February, 2013, Huangshan, China  
"Estimating marginal willingness to pay (MWTP) for environmental improvement by co-benefit of global warming mitigation in Asian countries using conjoint analysis and benefit transfer"
- 21) J. LIANG, A.MURATA, Proceedings of GHGT-11 (京都, 2012)  
"Analysis of the CCS Considering Environment Co-benefit of Air Pollutants in China"

## 【シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)】

- 1) リスク工学研究会 (平成22年6月14日)  
「地球環境問題と一般世帯の環境意識」  
筑波大学総合研究棟B棟公開講義室
- 2) 地球環境問題セミナー (平成24年1月23日)  
「エネルギー安全保障、原子力問題から見たエネルギー需給展望」  
筑波大学総合研究棟B棟公開講義室
- 3) 環境・エネルギー シンポジウム (平成24年11月27日)  
「アジアの大気汚染と地球温暖化対策」  
筑波大学総合研究棟B棟公開講義室



御清聴ありがとうございました。