

課題名	E-0804 都市・農村の地域連携を基礎とした低炭素社会のエコデザイン
課題代表者名	梅田靖（大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻・同環境イノベーションデザインセンター兼任）
研究実施期間	平成20～22年度
累計予算額	119,886千円（うち22年度 37,206千円） 予算額は、間接経費を含む。
研究体制	<p>(1) 低炭素化に向けた持続可能地域連携社会の枠組み、指標及びシナリオ（大阪大学）</p> <p>(2) 農工連携による自然資本を生かした低炭素化産業の創出（業結合モデル）（大阪大学）</p> <p>(3) 都市－農村空間結合による低炭素化クラスター形成（空間結合モデル）（北海道大学）</p> <p>(4) 広域低炭素化社会実現のためのエネルギー・資源システムの改変と政策的実証研究(国際互惠モデル)（立命館大学）</p>
研究概要	<p>1. はじめに</p> <p>我が国は2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を1990年比で半減する長期目標を提言しており、国を挙げた低炭素社会構築への取り組みが求められている。一方で、国内における農林水産業の衰退、地方農村の過疎化や高齢化の進行が重大な懸案事項となっている。低炭素社会の構築に貢献し、同時に農村・農林水産業を活性化する方策として、自然資源の維持管理および地域循環利用システムの構築が期待されている。</p> <p>一方、隣国の中国は、急速な経済成長に伴って世界の温室効果ガス排出国となっており、世界全体で排出削減に取り組む際にその果たす役割は非常に大きい。しかし、国内では都市・農村間の所得格差の問題や公害、環境汚染など諸課題が山積しており、これらの国内問題への対応も含めて低炭素化と格差、公害、環境汚染の緩和の相乗便益を提示しながら低炭素社会へ誘導することが国際社会に課せられた喫緊の課題となっている。</p> <p>これらを背景として、社会横断的な施策の一つとして、都市と農村の関係性を低炭素社会の構築という目標の下で再検討することが有効であると考え。そのためには、都市・農村連携による温室効果ガス削減ポテンシャルを推計するとともに、そのあるべき姿とそこに至るシナリオを具体化することが、低炭素化社会に向けたグランドデザインを検討する上で重要な学術研究になりうる。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本研究課題は、「都市・農村の地域連携」を基本コンセプトとして、低炭素社会の下でのアジア（特に日本および中国）における都市・農村の在り方を具体的な事例を通じて分析・評価し、あるべきエネルギー・物質の地域循環利用システムを基盤とした将来シナリオを描くことを目的とする。</p> <p>その目的を達成するために、本研究は4つのサブテーマで構成する。</p> <p>サブテーマ2～4では日本、もしくは、中国で現地調査とモデル化を行うパイロットモデル事業／地域を設定し、都市・農村連携のモデルを具体的に提示する。すなわち、農工連携による自然資本を生かした低炭素化産業の創出(業結合モデル)（サブテーマ2）、都市－農村空間結合による低炭素化クラスター形成(空間結合モデル)（サブテーマ3）、日中互惠モデルによる広域低炭素化社会実現のためのエネルギー・資源システムの改変と政策的実証研究(国際互惠モデル)（サブテーマ4）である。</p> <p>さらに、サブテーマ1において、各サブテーマのパイロットモデル事業／地域の現地調査および分析・評価から得られた基礎データを共通の分析ツールで数理モデル化することにより、都市・農村の地域連携によるエネルギー・物質の地域循環利用システムの規範モデル（これを「都市・農村連携クラスター・モデル」と呼ぶ）を複数作成し、各モデルの国内およびアジアへの展開可能性とそれによる低炭素社会への潜在的効果を推定する。この過程を通じて、低炭素社会における中長期的な都市・農村連携の在り方を提言することを最終目的とする。</p>

3. 研究の方法

(1) 低炭素化に向けた持続可能地域連携社会の枠組み、指標及びシナリオ

本研究では、都市・農村連携のフロー・ストック勘定分析およびライフサイクルシミュレーションを用いた因果関係モデルの2種類の分析ツールを構築した。それに基づき、エネルギー・物質の地域循環利用システムに関する複数の都市・農村連携クラスター・モデルを作成し、日中における適用可能地域への展開による二酸化炭素(CO₂)排出削減効果のポテンシャルを算定した。さらに、将来予測に基づくシナリオ分析を用いて、2030年における低炭素化効果・各種自給率の向上・地域経済の活性化などのポテンシャル評価を行った。最後に、それらの分析ツールによる試算結果およびサブテーマ2～4の研究成果をとりまとめた上で、低炭素社会の構築に向けた都市・農村連携の在り方に関する提言を行った。

(2) 農工連携による自然資本を生かした低炭素化産業の創出（業結合モデル）

本研究では、アジア発展途上国の農村地域において農工連携によるバイオマスの高付加価値化利用を企図した新産業を創出し、それによって低炭素型地域経済発展モデルを構築することを目的とする。中国河南省靈宝市におけるトチュウ (*Eucommia ulmoides*) バイオマス栽培・利用事業を、パイロットモデル事業とした。この事業をトチュウを原料として天然ゴム、雄花茶、バイオディーゼル燃料(BDF)、副産物の飼料、薪などを産出し、退耕植林による土壌保全、生態系炭素固定とバイオマス製品による化石資源代替による低炭素効果、高機能バイオマス製品の産出、事業による農村部の雇用創出と経済活性化などの多様な便益を同時達成する「一石五鳥」モデルと位置づける。パイロットモデルを対象とし、(1)農工連携バイオマス産業の生産・加工プロセスのデザイン、(2)農工連携バイオマス産業による多様な便益の分析、(3)農工連携農村産業に適用可能なバイオマス樹種探索と土地利用最適化試案の作成をおこなった。(1)では環境調和型プロセスのデザインに加え、スチュワードシップに基づく環境保全活動・製品への対価支払いの仕組みを提案した。(2)では生態系炭素収支と製造プロセスのライフサイクル評価により、低炭素化効果を定量評価した。また様々なバイオマス産業を想定し、環境保全効果（水土保全と低炭素化）の経済便益と社会経済的効果（事業収支、雇用創出、農民収入増加、経済波及効果）を評価・比較した。(3)では中国におけるバイオマス産業適応種を探索し、パイロットモデル地域において事業収支と環境便益を最大化する土地利用計画を提示した。

(3) 都市－農村空間結合による低炭素化クラスター形成（空間結合モデル）

本研究は、パイロットモデル地域を北海道として、各市町村の空間的な食料・エネルギー・CO₂に関する分布を分析し、都市・農村間および地域間の物質・エネルギーの結合（連携）による低炭素型自給構造（低炭素化クラスター）を分析した。そして、2030年の将来像を見据え、「農村孤立型」と「都市・農村連携型」の2つのシナリオを設定して、都市・農村連携による物質・エネルギー補完やサービス補完から導き出される低炭素型の食料・エネルギーの自給構造への条件（提言）をまとめた。

(4) 広域低炭素化社会実現のためのエネルギー・資源システムの改変と政策的実証研究(国際互惠モデル)

都市・農村連携による地域分散型エネルギーシステムの提案と分析を行い、地域レベルの「ローカルな低炭素化」を実現しうる方向性を定めた上で、より広範囲での「広域低炭素社会」の実現可能性について中国を舞台とする日中協力を対象とした実証研究を行い、最終的に「東アジア低炭素共同体」モデルを構築することを目的として研究を実施した。平成20年度に地域分散型エネルギーシステム導入支援ツールを開発し、21年度には都市・農村連携による地域エネルギーシステムの最適化に関する研究を行った。これらを踏まえ、22年度には地域エネルギーシステムの中・長期シナリオを作成した。さらに本研究で目指す都市・農村の対等な関係の発展形として、東アジア地域での低炭素化を鍵概念とした国家間の互惠関係の構築を目指した枠組み「東アジア低炭素共同体構想」の提言を狙いとした研究を行った。

4. 結果及び考察

(1) 低炭素化に向けた持続可能地域連携社会の枠組み、指標及びシナリオ

サブテーマ2～4のパイロットモデルから得られた基礎データを共通の分析ツールで数値モデル化し、複数の都市・農村連携クラスター・モデルを作成することにより、日本および中国全土の適用可能地域に広域展開した場合の二酸化炭素排出削減ポテンシャルを推計した。その結果、日本で約55.5 Mt-CO₂、中国で約491 Mt-CO₂（各モデルのそれぞれの適用可能地域における削減割合は数%

のオーダー)の最大削減ポテンシャルが期待できることを明らかにした。

また、将来予測に基づくシナリオ分析では、サブテーマ3の都市・農村空間結合による低炭素化クラスター・モデルを日本全国に広域展開した場合の試算結果を例として挙げると、2030年の段階でエネルギー代替および肥料代替によるCO₂排出削減量35.8 Mt-CO₂/年を空間結合モデルにより達成できる成立条件があることが明らかとなった。また、原油価格が高騰するシナリオにおいて、原油価格高騰に伴う農産物の価格高騰および炭素オフセットクレジット(農村における低炭素化事業によるCO₂排出削減分を、都市が直接削減できない排出分と相殺する炭素オフセットに用いる地域内クレジット制度)を導入することにより、品目(米、野菜、豚など)によっては補助金に依存することなく従来の農業所得水準を超えることができる可能性があることを定量的に明らかにした。

本研究課題では、低炭素社会の構築に向けた都市・農村連携の目指すべき姿は、農村の多面的機能を再評価することにより、都市と農村が対等な関係性を構築し、農村の生態系サービスの維持・発展を都市と農村が連携して担うことであると結論づけた(図1参照)。都市・農村連携を促進するためには、基本的には、都市・農村間の価値観の共鳴と、農村部における内発的発展・自立が前提となると考えられる。そのためには、農村のストックの価値を明確化し、農村から都市への多様なフローを提供すると同時に、都市自体の需要のスマート化を実現し、都市から農村のフロー、特に、労働力・人材、資金、知識・技術の流れを拡充し、農村と都市間で安定的な循環システムを成立させることが求められる。低炭素社会の構築に向けた都市農村連携の在り方に関する9つの提言およびその根拠となる研究成果の概要を表1に整理した。

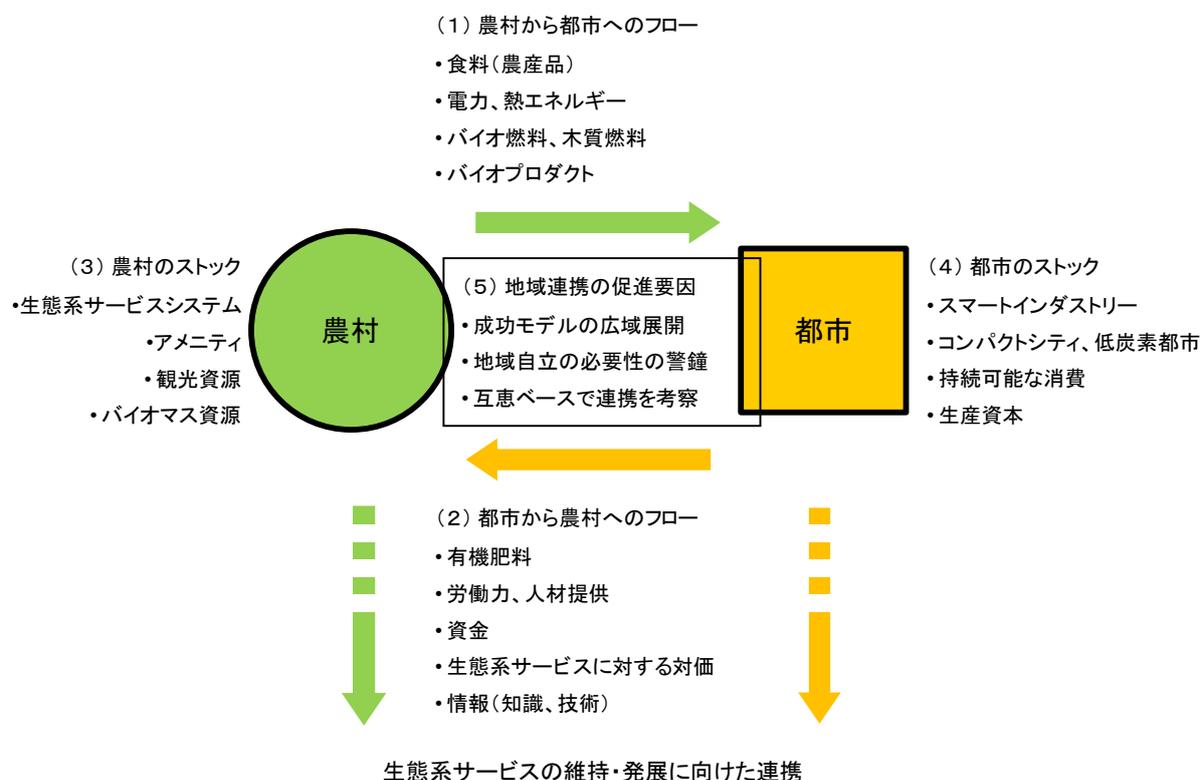


図1 低炭素社会における都市・農村連携の在り方

表1 都市・農村連携の在り方に関する提言および根拠となる研究成果概要

提言	根拠となる研究成果概要
(1) 農村から都市へのフロー	
耕畜林業連携、エネルギー作物栽培促進	(サブテーマ3)北海道を対象に、食料・エネルギーの供給力・地域自給ポテンシャルを試算した。成立条件として、森林業の再生、燃料作物(ヤナギなど)栽培流通システムの確立、バイオマス循環による耕畜林業連携システムの確立が必要であることが示唆された。
自然資本を生かした新規地域産業の創出	(サブテーマ2)農民主体による農工連携型の現地生産プロセスとして、トチュウ120万本植林事業の設計をおこなった。また、地域に適合する最適植物種の探索と選定をおこなった。

長期視点に立った複数指標による政策決定	<p>(サブテーマ1)フロー・ストック勘定分析によって、バイオマスの利用用途として、エネルギー優先と原材料優先の2つのオプション実施下における各種影響評価を算定し、トレードオフ関係を明確化した。温室効果ガス排出削減の面ではエネルギー優先利用の方が有利であるが、鉱物資源や土地の節約の面からは原材料優先利用の方が有利であることが示された。</p> <p>(サブテーマ2)マテリアルフローに基づく資源植物の多様なバイオマス製品の持続的な供給とその相乗便益評価をおこなった。</p> <p>(サブテーマ4)経済性および環境性を両立することができる地域分散型エネルギー転換技術の導入可能性を検討した。</p>
(2)都市から農村へのフロー	
人材投入・資金メカニズム導入による農林業およびバイオマス転換産業の安定化	<p>(サブテーマ1)提案する自然資源の地域循環システムを支える資金メカニズムとして、炭素オフセットクレジット等の各種税制導入の可能性について、ライフサイクルシミュレーションを用いて試算をおこなった。</p> <p>(サブテーマ2)トチュウ植林事業の低炭素化効果の炭素クレジット化、水土保全の環境便益評価をおこなった。</p> <p>(サブテーマ3)2030年における炭素クレジットの地域収入源としての可能性を試算した。</p> <p>(サブテーマ4)アジアにおける広域低炭素共同体の費用便益の分担システムの構築をおこなった。共同体の実現に向けた方法論として、ESCO事業*とクリーン開発メカニズム(CDM)を組み合わせた方法の提唱と評価をおこなった。(* 省エネルギーのための設備などにかかる費用を光熱水費の削減分で賄う事業)</p>
(3)農村のストック	
低炭素社会の構築に向けた生態系評価指標の策定	<p>(サブテーマ2)トチュウ120万本植林事業において、現地調査とモデルによる生態系炭素固定効果の算定、土壌侵食量の現地調査と水土保全効果予測、植林地域とその周辺市街地における大気環境測定を実施した。</p>
(4)都市のストック	
食料・エネルギー需要量の適正化	<p>(サブテーマ2)工業生産機能を農村部へ一部委譲することに伴う雇用創出により、都市部への流入人口を抑制できる可能性を示唆した。</p> <p>(サブテーマ3)林業再生に寄与する都市住民などの木質生活への移行の必要性を提示した。(木材製品の需要増 ⇒ 林業再生 ⇒ 木質バイオマスの適正利用)</p> <p>(サブテーマ4)エネルギー需要量の変動と地域特性に合わせた地域分散型エネルギーミックス評価ツールを開発し、都市部、農村部と都市・農村部における電源システムのスマート化に寄与する研究をおこなった。</p>
(5)都市・農村連携の促進要因	
地域適合性を考慮したパイロットモデルの広域展開	<p>(サブテーマ1)都市・農村の地域連携形態の整理および地域連携施策の広域適用可能性評価をおこなった。</p>
外部条件の変化に対する柔軟な対応の必要性の警鐘	<p>(サブテーマ1)原油価格高騰、少子高齢化などの推移予測、食料生産国・資源産出国の輸出制限など将来危惧される状況を考慮した長期シナリオ分析をおこなった。</p> <p>(サブテーマ3)原油価格高騰下におけるバイオマス徹底利用時の食料・エネルギー自給率、農業所得変化、温室効果ガス排出削減量を北海道の都市・農村別と市町村別に試算した。</p>
互恵関係を念頭にいた地域間連携、国家間連携	<p>(サブテーマ4)農村主導型、都市主導型と都市農村協働型に分けて、エネルギーシステムの最適化とCO₂排出の最小化から地域間連携の可能性を提示した。さらに国家間連携によるグローバル低炭素化社会を実現するための統合評価モデルの開発を行い、広域低炭素社会(東アジア低炭素共同体)の具現化を試みた。</p>
(2) 農工連携による自然資本を生かした低炭素化産業の創出 (業結合モデル)	
<p>農工連携による地域低炭素化のモデルとして、中国霊宝パイロットモデル地区における退耕還林トチュウ植林産業化事業の「一石五鳥」コベネフィットの定量化評価を行った。はじめにパイロットモデル地区の自然環境、産業構造、経済状況等を現地および文献調査し、そのうえで適合するトチュウバイオマスを利用した環境調和型の栽培・製品加工プロセスのコンセプトを提案した。またスチュワードシップに基づく環境保全活動・製品への対価支払いの仕組みを提案した。</p>	
次に生態系炭素収支と製造プロセスのライフサイクル評価により、低炭素化効果を定量評価し	

た。また様々なバイオマス産業（現状のトウモロコシ栽培、環境林であるハリエンジュ、経済林であるリンゴ）を想定し、環境保全効果（水土保全と低炭素化）の経済便益と社会経済的効果（事業収支、雇用創出、農民収入増加、経済波及効果）を評価・比較した。トチュウは比較的成長が速く、生態系への炭素固定量が大きい上、種子油からのBDFや果皮からの天然ゴムというバイオマス高度利用により低炭素化効果は最大となった。栽培管理が容易で、製品製造に多くのエネルギーを必要としないことも大きな要因となっていた。水土保全効果についても、トチュウ林は他の土地利用と比較して土壌流亡量が少なく、トウモロコシ栽培の12分の1に流亡量が抑制されていた。事業利益においてもトチュウが最大となっており、リンゴ濃縮果汁事業よりも粗収入が低いものの高付加価値製品の販売と栽培管理、製品加工コストの削減により事業収支として上回った。また、トチュウ林のプランテーション更新期間が100年であることから、持続的なバイオマスが生産・供給可能であることも特筆すべきである。地域経済波及効果として、現在植林されているトチュウ林2000 haの事業展開で第2次波及効果までの総生産額は1億8,934万円で波及効果倍率は1.4倍になり、雇業者総数は約7千人となった。霊宝市の産業生産額に対する増分はわずか0.3%であるものの、同等面積のトウモロコシ栽培による経済波及効果の約3倍に当たる。これより、トチュウ産業は従来の第1次産業よりも高い収益により、環境改善効果の持続性が担保されるといえる。

最後に、有用なバイオマス種の導入により、熱帯パラゴムの大規模商業プランテーションのように、モノカルチャー化の弊害が懸念される。中国におけるバイオマス産業に適応可能な多様な植物種を探索し、パイロットモデル地域において事業収支と環境便益を最大化する土地利用計画を提示した。探索条件を、①低炭素化に寄与する油糧植物、②食糧と競合せず、土壌保全効果が高い木本植物、③中国内の広域で栽培可能な種とした。これらの中から、多目的バイオマス製品を製造可能な樹種であるブンカンカ（文冠果：*Xanthoceras sorbifolia*）とヤトロファ（南洋油桐：*Jatropha curcas*）を選択し、環境保全効果と事業性を評価した。両方の樹種において低炭素化効果は高く、事業利益はヤトロファが低いものの、ブンカンカはトチュウよりも高かった。トチュウ、ブンカンカ、ヤトロファ、ハリエンジュの4種を組み合わせ、土壌流亡量の抑制目標、生育環境、労働効率の低下、食糧自給率100%を確保する耕作地と放牧地を制約条件として、事業利益と環境便益が最大化するような土地利用を提案した。その結果、土壌流亡量の激しい地域に植林対象地が集中し、農村部周辺にはブンカンカ、栽培適応範囲が広く管理が比較的粗放的なトチュウを中間域とし、遠隔地には管理が不要なハリエンジュとなった。環境改善効果の経済便益は、事業収支とほぼ同等であり、この環境便益への対価支払の仕組みを整備することでバイオマス事業の持続性をはかることができる。

（3）都市－農村空間結合による低炭素化クラスター形成（空間結合モデル）

作成した2030年までの北海道パイロットモデル地域におけるシナリオにおいて、「農村孤立型」では、2030年に推定される人口減少および域内総生産（Gross Regional Products: GRP）の減少により、食料自給率の増加およびCO₂排出量の減少が推測されるが、原油価格高騰（\$61/バレルから\$124/バレルへ）により、化石燃料、飼料、肥料価格の高騰が発生し、第一次産業のコスト増加につながる。このコストの増加により、農業所得は20%減少すると推計され、経営が成り立たない状況が予測された。バイオマスの徹底的な循環利用を前提とした「都市・農村連携型」では、エネルギー、飼料、肥料の自給構造を確立することにより、それらの自給率を大きく上昇する可能性（食料自給率197から296%へ、エネルギー自給率2から28%へ）があり、農業所得においても増加に転じる可能性を見出した。また、CO₂に関しても約70%削減（バイオマス代替利用＋森林吸収による）できるポテンシャルを有していると推計できた。このCO₂削減量は、単価を30千円/t-CO₂と仮定すると、クレジットとして7,670億円に相当し、道内域際収支の道央圏外地域の赤字8,128億円をほぼ補てんできるレベルである。よって、バイオマスの徹底的な循環利活用は、地域経済を成立させる有効な条件である可能性を示した。2030年の「都市・農村連携型」による北海道のポテンシャルを十分に発揮するための条件（提言）は、次のようにまとめられた。食料、バイオマスエネルギー供給基地としての農村地域の位置付けが重要であり、またそれを支えるため食料、エネルギーや生態系サービス対価としての都市からのサポートが必要である。次の2点が重要な条件（提言）であった。

- ・農村地域のバイオマス徹底利用システムの構築。
- ・都市・農村連携による有機物・エネルギー補完とサービス補完

（4）広域低炭素化社会実現のためのエネルギー・資源システムの改変と政策的実証研究(国際互惠モデル)

中国における都市・農村連携のエネルギーシステムの構築においては、都市でのエネルギーイン

フラの導入を中心に行う「都市主導型連携」や農村の未開発再生可能エネルギーの利用を中心とする「農村主導型連携」よりも、都市と農村での再生可能エネルギーを協働的に開発する「都市・農村協働型連携」がもっともCO₂の排出削減効果が高く、またCO₂排出削減コストも安価となることを明らかにした。これは都市主導型では天然ガスなど化石燃料依存傾向が強くなること、農村主導型では導入コストの高い再生可能エネルギーの導入に集中するためである。

さらにパイロットモデル地域である中国浙江省・湖州市を対象に、2030年までの地域のエネルギー需給シナリオとして、現状移行シナリオ（BAUシナリオ）と低炭素シナリオ（LCCシナリオ）の2つのシナリオを作成した。前者は排出制限を考慮していない現行の発展プロセスを延長したシナリオであり、後者は中国の自主目標を参考に2005年比でGDP当りCO₂排出量を2020年までに40%削減し、2030年までに60%削減するシナリオである。LCCシナリオでは例えば石炭火力のCO₂回収・貯留技術（CCS）などが含まれる。分析結果は、2つのシナリオのエネルギー構成が大きく異なることを示した。BAUシナリオでは、期間全体を通して大半が石炭、若干量が石油によって供給される。一方、LCCシナリオでは、地域に賦存するバイオマスが導入され、不足分が天然ガスにより補われる。石炭と石油による供給は増加しないが、2020年頃からは、CO₂回収・貯留（CCS）技術の導入により、石炭の割合が増加する。つまり、排出制限の考慮により、地域のエネルギー構成は従来の化石燃料から再生可能エネルギーに転換するトレンドを示している一方、CCS技術の進歩（技術コストの低減）に従って、CCSを組み合わせる石炭火力発電の競争力が高まる可能性もある。

また、都市・農村連携の国家間の拡張として先進国・途上国連携による低炭素化の事例研究から、たとえば日本で確立された技術を中国の石炭火力発電に適用することにより、中国でおよそ7億t-CO₂の排出削減効果が期待できることを明らかにした。これらの分析結果に基づき、現状では特性や格差がある要素（たとえば都市と農村、先進国と新興国など）が連携することにより、対等な関係性を構築することで1 + 1以上の効果を出すことを期待した「東アジア地域低炭素共同体」を提言した。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

1) サブテーマ1では、フロー・ストック勘定分析とライフサイクルシミュレーションを用いた因果関係モデルを組み合わせた、都市・農村連携クラスター・モデルのポテンシャル評価分析手法を開発した点に新規性がある。フロー・ストック勘定分析は、パイロットモデル地域における物質フロー・ストックの物量データ整理や配分設定など線形性を仮定した分析、および、複数の施策オプション間のトレードオフ分析に有効である。一方のライフサイクルシミュレーションは、非線形動的な変化およびフィードバックを含む時系列を考慮したシミュレーションなどより詳細に分析を行うために有効である。

上記の分析手法を用いて、各パイロットモデル事業を共通の枠組みで数理モデル化し、都市・農村連携クラスター・モデルを作成するという方法を採用することによって、各モデル間、複数の施策オプション間および対象地域間の比較分析が可能となった。さらに、原油価格や人口推移などの将来予測に基づくシナリオ分析モデリング手法を上記の分析手法に組み込むことで、中長期にわたる施策オプションの展開効果を試算することが可能となった。

2) サブテーマ2では、農村地域におけるバイオマス資源を高度利用した産業化によってもたらされる環境改善効果（低炭素化と水土保持）と地域社会経済的効果（雇用創出と農民収入増加、地域経済波及効果）に関し、生態学、システム工学、社会経済学から多面的にアプローチし、バイオマス事業の効果と持続可能性を評価した。科学的な意義として、①バイオマス成長と土壤炭素動態の考慮による低炭素効果評価の高度化、②非エネルギーバイオマス製品の低炭素効果評価方法の提示、③バイオマス事業収支と環境改善効果の経済価値の直接比較が挙げられる。

3) サブテーマ3では、対象地を北海道として豊富な生物資源のポテンシャルを評価し、第一次産業および住民の物質・エネルギー産出投入による関係性から、北海道全体や市町村ごとの食料・エネルギーなどのポテンシャルを評価した研究として新規性を有する。そして、これらポテンシャル評価から、北海道の地域生活経済圏や振興局（旧支庁）および市町村の連携による、食料・エネルギー・CO₂などの自立構造を定量的に明確化したことに科学的な意義を有する。

本研究は、農山漁村などの地域から発信する低炭素社会構造に焦点を当て、地域連携および都市・農村連携を通じて構築する持続的低炭素社会構造のための設計基礎情報として、社会構造設計に大いに貢献できる。将来危惧される石油価格高騰や人口変動に対して、あるべき地域連携構造、都市・農村連携構造の可能性を明示した研究の1つとなる。今回の研究結果から、持続的低炭素社会構築のためには、都市と農村間の相互補完（物質・エネルギー補完とサービス補完）が重要であ

り、食料・エネルギーの自給および低炭素化が可能となる条件が存在することを明確化した。

4) サブテーマ4では、概念にとどまっていた都市・農村連携型のエネルギーシステムの構築によるCO₂削減効果とその際のコストを定量化する最適化手法を提案し、実証的に可能性を示した点である。これに加え、大気汚染改善のための制度的施策（たとえば硫黄税など）が、石炭使用量を削減させ、結果的にCO₂の排出削減を低減させるなどのコベネフィット効果を定量的に明らかにしたことである。

（2）環境政策への貢献

1) 開発した分析ツールは、日本の地方自治体や中国の地方政府が自然資源の循環利用を促進する都市・農村連携施策の立案と評価を行う際に有用である。中国において同様の施策立案・評価の研究事例が少ない中、中国省レベルの統計データを用いて、パイロットモデル地域のモデリングを行ない、分析を実施することが可能となった。各パイロットモデル地域の基礎データを集約化して分析を行ない、その国内およびアジアへの展開可能性を明らかにし、持続可能な社会構築に向けた潜在的効果を推定することができた。

また、都市・農村連携クラスター・モデルの適用可能性評価に基づいて、持続可能な社会の構築に向けた都市・農村連携のシナリオ作成および提言を行った。これにより、具体的には「21世紀環境立国戦略」（平成19年6月1日閣議決定）に定められた8つの戦略（特に、戦略3、5、8）の具体化を図り、社会システムの変革を促す環境政策の根拠資料として貢献することができると考えられる。また、「2050日本低炭素社会シナリオ」（平成19年2月15日発表）のシナリオBを実現するために、あり得る農村の姿をパイロットモデル事業／地域として具体的に示し、そのポテンシャル評価をおこなった。

2) 本研究は脱温暖化シナリオに対応可能な政策のヒントとして、農村におけるバイオマス産業の具体例を提示し、その推進のための農業・工業・地域連携の有効性を示した。また日中環境保護協力協定に対応した政策のヒントとして、日本の技術を導入した中国農村部における国際連携バイオマス産業創出モデルを提示した。従来のバイオマス利用による低炭素化推進施策において見られなかった、バイオマスの多目的利用という視点を導入することによって、本研究はバイオマス事業の最大の障壁である経済性を改善しうることを示した。またバイオマス産業を持続可能とする仕組みとして、低炭素だけでなく多様な環境保全効果の評価も有望であることを示した。環境と社会経済の多様な便益を同時達成する「一石五鳥」モデルが、環境の持続的改善に寄与することを示した。

3) 環境省において促進している循環型社会基本計画は、地域の特性や循環資源の性質に応じた最適規模の循環形成を謳い、バイオマス系循環資源を主体とした「地域循環圏」構想を打ち出している。この「地域循環圏」は、地域資源特性や処理技術の高低により、小規模な循環圏の順に「コミュニティ資源循環」、「地域資源循環」、「ブロック内資源循環」、「国内資源循環」、「国際資源循環」を設定している。また、北海道は「第3次北海道長期総合計画」において、地域づくりの基本を地域生活経済圏（道央、道南、道北、十勝、オホーツク、釧路・根室の6つ）に置き、経済圏内の地域連携を強化する政策をとっている。環境省および北海道のこのような環境政策に対し、本研究の市町村レベル、振興局レベル、地域生活経済圏レベル、北海道全体での分析は、「コミュニティ資源循環」、「地域資源循環」、「ブロック内資源循環」による食料・エネルギー自給と低炭素化を定量的に示した研究と位置付けることができる。本研究は環境省および北海道の政策に対して、連携構造設計の基礎的なデータを定量的に明示するものであり、北海道モデルとして持続的低炭素型循環社会への政策提言に大いに活用できる。今後、北海道へ本研究成果の広報・普及に努める。

本研究成果は、地域における低炭素社会および循環型社会設計に対して、基礎情報として活用された。北海道大学サステナビリティ学教育研究センターの本プロジェクトに関わる教授および准教授が、富良野市のエネルギービジョン委員会や下川町の炭素会計委員会の委員となり、委員会において仕組み作りに対する提言を行った。また、本研究プロジェクトを通じて、低炭素・循環型社会へ向けた地域との研究連携が実を結び、2011年2月28日に北海道大学サステナビリティ学教育研究センターと環境モデル都市である北海道下川町は連携協定を結ぶに至った。この連携協定は、学術・環境保全・農林業振興・観光振興などの分野を対象としており、本プロジェクトの研究成果を基に、今後更なる実地域レベルでの研究の促進に努める。

4) 都市・農村連携によるエネルギーシステムの最適化により、地域レベル、国レベル（中国など）での温暖化対策から、さらに国家間、特に東アジア地域の連携による国境横断型の広域低炭素社会の鍵概念構築に貢献した。これらは東アジア低炭素共同体構想として結実し、本構想は、2010年5月に開催された「第12回日中韓三カ国環境大臣会合(TEMM12)」において、小沢環境大臣（当時）より、日中韓が協力して実現するアジアでの低炭素社会（「東アジア低炭素共同体」）、低公害社会、循環型社会の1つとして提案されており、中国側及び韓国側から賛同を得ている。

6. 研究者略歴

課題代表者：梅田靖

1964年生まれ、東京大学工学部卒業、博士(工学)、現在、大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻教授、同環境イノベーションデザインセンター兼任教授

研究参画者

(1) : 梅田靖 (同上)

(2) : 町村尚

1962年生まれ、北海道大学農学部卒業、博士(農学)、大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻准教授

(3) : 大崎満

1950年生まれ、北海道大学農学部卒業、博士(農学)、北海道大学大学院農学研究院教授

(4) : 周璋生

1960年生まれ、浙江大学工学部卒業、京都大学大学院博士後期課程修了、工学博士、立命館大学政策科学部教授、立命館サステイナビリティ学研究センター長 (2010年3月まで)

7. 成果発表状況 (本研究課題に係る論文発表状況。)

(1) 査読付き論文

- 1) 仲上健一：環境技術，環境技術学会，Vol.37，No.9，pp.12-16 (2008)
「北海道洞爺湖サミットの成果とJEARIC'sの課題」
- 2) 大崎満：環境技術，環境技術学会，Vol.37，No.9，pp.17-22 (2008)
「熱帯泥炭・森林の修復と保全による地球温暖化防止」
- 3) 盛岡通：環境技術，環境技術学会，Vol.37，No.9，pp.23-28 (2008)
「低炭素型環境都市による持続可能なまちづくり」
- 4) 梅田靖：環境技術，環境技術学会，Vol.37，No.9，pp.29-33 (2008)
「低炭素社会へ向けたシナリオの構造的記述」
- 5) 周璋生：環境技術，環境技術学会，Vol.37，No.9，pp.34-38 (2008)
「広域低炭素社会実現を目指して—国際互惠型「低炭素共同体」構想の提起—」
- 6) 木村道徳，松井孝典，津田和俊，熊澤輝一，梅田靖，盛岡通：環境システム論文集，Vol.37，pp.377-383 (2009)
「低炭素型都市圏の構築を目指した農林水産業主体に着目した業結合モデルの提案—環境モデル都市提案施策を対象として—」
- 7) 町村尚，佐田忠行，小林昭雄，中澤慶久，玉泉幸一郎，堤雅史，部谷桂太朗，津田和俊，蘇印泉：環境システム研究，Vol.37，pp.467-475 (2009)
「中国の退耕還林植林地におけるバイオマス高度利用とその低炭素化ポテンシャル—河南省靈宝市のトチュウ植林の事例—」
- 8) 周璋生，任洪波，仲上健一：政策科学，Vol.16，No.2，pp.17-27 (2009)
「広域低炭素社会に向けた都市と農村連携による国際互惠型エネルギーシステムに関する研究—湖州市における分散型エネルギーシステムの導入可能性に関する評価及び導入促進策の解析」
- 9) 加藤久明：政策情報学会誌，Vol.3，No.1，pp.69-84 (2009)
「「低炭素社会」の到来と社会モデルの転換：持続可能な調和社会モデル構築への方途」
- 10) 任洪波，周璋生，仲上健一：国際地域研究，Vol.30，pp.63-80 (2009)
「中国における建築省エネルギーグリーン開発メカニズム(CDM)事業の導入可能性に関する研究：浙江省湖州市を事例として」
- 11) H. Ren, W. Gao, W. Zhou and K. Nakagami: Energy Policy, Vol.37, Issue 12, pp.5484-5493 (2009)
“Multi-Criteria Evaluation for the Optimal Adoption of Distributed Residential Energy Systems in Japan”
- 12) H. Ren, W. Zhou and K. Nakagami: Journal of Policy Science, Vol.4, pp.99-114 (2009)
“Transition to a Low-Carbon Energy System through the Adoption of Distributed Energy Resources: Case study in a Chinese Urban Area”
- 13) 中久保豊彦，山本祐吾，盛岡通，東海明宏：土木学会論文集G，Vol.66，No.3，pp.120-130 (2010)

「中国省レベルにおけるバイオマス利用施策の立案を支援する評価モデルの構築」

- 14) 佐田忠行, 町村尚, 田中大士, 蘇印泉, 張景群, 小林昭雄: 環境技術, 環境技術学会, Vol. 39, No. 9, pp. 549-556 (2010)
「多目的バイオマス利用による環境改善および社会経済的効果ー中国黄土高原におけるポテンシャル評価ー」
 - 15) 佐藤寿樹, 辻宣行, 田中教幸, 大崎満: システム農学, Vol. 26, No. 1, pp. 17-25 (2010)
「農畜林業バイオマスを基礎とした食料・エネルギー自給ポテンシャル解析 (北海道富良野市を事例として)」
 - 16) 任洪波, 周瑋生, 仲上健一: エネルギー・資源(エネルギー・資源学会), Vol. 31, No. 1, pp. 29-37 (2010)
「中国都市部における民生部門用分散型エネルギーシステムの最適化」
 - 17) 蘇宣銘, 周瑋生, 穆海林, 仲上健一: 立命館大学政策科学会, Vol. 17, No. 2, pp. 85-96 (2010)
「「東アジア低炭素共同体」実現のための将来シナリオ構築に関する研究ーその1 エネルギー・経済統合評価モデル (G-CEEP) の開発とケーススタディー」
 - 18) H. Ren, W. Zhou, K. Nakagami, W. Gao and Q. Wu: Applied Energy, Vol. 87, Issue 12, pp. 3642-3651 (2010)
“Multi-objective Optimization for the Operation of Distributed Energy Systems Considering Economic and Environmental Aspects”
 - 19) H. Ren, W. Zhou, K. Nakagami and W. Gao: Energy, Vol. 35, Issue 5, pp. 2210-2222 (2010)
“Integrated Design and Evaluation of Biomass Energy System Taking into Consideration Demand Side Characteristics”
 - 20) H. Ren, W. Zhou, K. Nakagami, W. Gao and Q. Wu: Applied Thermal Engineering, Vol. 30, Issue 16, pp. 2584-2593 (2010)
“Feasibility Assessment of Introducing Distributed Energy Resources in Urban Areas of China”
- (2) 査読付論文に準ずる成果発表 (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可)
- 1) 大崎満: セントラル合同肥料の農業だより「北から南から」, Vol. 331, pp. 16-20 (2008)
「食料自給率回復への鍵」
 - 2) 梅田靖: 外務省 平成20年度日中研究交流支援事業「調和 (和諧) 社会総合モデル」構築に関する日中共同研究報告書, pp. 112-117 (2009)
「都市農村連携のエコデザイン」
 - 3) 佐藤寿樹, 辻宣行, 田中教幸, 大崎満: 外務省 平成20年度日中研究交流支援事業「調和 (和諧) 社会総合モデル」構築に関する日中共同研究報告書, pp. 63-70 (2009)
「北海道における地域の農畜林水産業を考慮したバイオマスエネルギー賦存量と自給ポテンシャル分析」
 - 4) K. Tsuda, T. Nakakubo, H. Takahashi, B. H. Low and Y. Umeda: International Association of Societies of Design Research 2009 (IASDR 2009), Proc. pp. 124 (upper half page) and CD-ROM (9 pages) (2009)
“Framework for Regional Partnership between Urban and Rural Areas towards a Low Carbon Society”
 - 5) 佐藤寿樹: セントラル合同肥料農業だより「北から南から」, No. 332, pp. 4-9 (2009)
「北海道食料・エネルギー自給のための複合的生物生産システムへ向けて」
 - 6) 辻宣行, 佐藤寿樹: 週間農林, 第2059号, pp. 9-11 (2009)
「“均一大規模”から“モザイク・循環”へ」
 - 7) 辻宣行: セントラル合同肥料農業だより「北から南から」, No. 332, pp. 10-12 (2009)
「持続可能な社会におけるバイオマスエネルギー」
 - 8) 大崎満: 週間農林, 第2058号, pp. 4-5, 18 (2009)
「気候変動とエネルギー危機に対応した21世紀型農業の設計ー気候変動とエネルギー危機が農業に与える影響ー」
 - 9) 大崎満: 週間農林, 第2065号, pp. 4-6 (2009)
「気候変動とエネルギー危機に対応した21世紀型農業の設計ー21世紀農業の設計ー」
 - 10) 津田和俊, 梅田靖: 環境技術, 環境技術学会, Vol. 39, No. 9, pp. 514-518 (2010)
「低炭素社会における都市・農村連携の概念整理」
 - 11) Low Bi Hong, 高橋勇人, 津田和俊, 梅田靖: 環境技術, 環境技術学会, Vol. 39, No. 9,

pp. 519-523 (2010)

「都市・農村連携モデルの広域展開の枠組み」

- 12) 町村尚, 佐田忠行, 小林昭雄: 環境技術, 環境技術学会, Vol. 39, No. 9, pp. 524-529 (2010)
「農工連携による農村低炭素化産業の創出」
- 13) 佐藤寿樹, 辻宣行, 田中教幸, 大崎満: 環境技術, 環境技術学会, Vol. 39, No. 9, pp. 530-535 (2010)
「「サトヤマ工学」をめざして」
- 14) 周瑋生, 仲上健一, 蘇宣銘, 任洪波: 環境技術, 環境技術学会, Vol. 39, No. 9, pp. 536-542 (2010)
「「東アジア低炭素共同体」構想の政策フレームと評価モデルの開発」
- 15) 任洪波, 小泉國茂, 加藤久明, 周瑋生, 仲上健一: 環境技術, 環境技術学会, Vol. 39, No. 9, pp. 543-548 (2010)
「都市農村連携による分散型エネルギーシステムと国際資源循環」
- 16) 佐藤寿樹, 大崎満: 北海道農業と土壌肥料2010, 日本土壌肥料学会北海道支部, pp. 226-230 (2010)
「物質・エネルギーの最適化に基づく順応的循環型生物生産モデル」
- 17) 大崎満: 北海道農業と土壌肥料2010, 日本土壌肥料学会北海道支部, pp. 221-225 (2010)
「21世紀の農業研究の方向性」