

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

(3) 都市－農村空間結合による低炭素化クラスター形成（空間結合型モデル）

北海道大学

大学院農学研究院 生物資源生産学部門 教授
 サステナビリティ学教育研究センター 教授

大崎満
 田中教幸

<研究協力者>

北海道大学サステナビリティ学教育研究センター 博士研究員 佐藤寿樹
 サステナビリティ学教育研究センター 特任准教授 辻宣行

平成20～22年度累計予算額 25,898千円（うち、平成22年度予算額 8,422千円）

上記の予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 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・二酸化炭素（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。

分析結果から、「農村孤立型」では、2030年に推定される人口減少およびGRP（Gross Regional Products）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。よって、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させる可能性（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、道央圏外地域の道内域際収支赤字8,128億円をほぼ補てんでくれるレベルである。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。

[キーワード] バイオマス、自給、食料、エネルギー、CO₂

1. はじめに

日本の食料自給率は40%（カロリーベース）レベルで推移しているのに対し、北海道の食料自給率は約200%もの数値を示している。日本の中で食料自給率が100%を超えている県は、5つ（北海道195%、青森118%、岩手105%、秋田174%、山形132%：2006年度）のみであり、その中でも北海道は、

最も大きな数値を示している。また、北海道は、このような食料生産から発生する副産物や廃棄物のバイオマスも豊富に存在し、また北海道は日本の森林面積の約2割を占め、木質バイオマスが非常に豊富な県と位置付けることができる。このように、北海道は日本の食料および木質バイオマス量の供給基地として大きな位置付けを担っていると考えることができるが、はたして持続的にこのような立場を維持できるかは疑問である。現在の農業生産システムは化石燃料に依存した構造であることから、今後現実味を帯びてくる化石燃料の枯渇もしくは温室効果ガス規制により化石燃料の使用が制限される場合、特に、北海道農業の現在の生産構造はほとんど機能なくなると危惧される。

一方国際的状況として、地球温暖化防止に向け、化石燃料利用の低減が世界的に求められ、IPCC第4次評価報告書によると2050年までに先進国で温室効果ガス排出量を80%削減する必要性が謳われている。このことは、化石燃料エネルギーからの脱却を経済の基本原則とした低炭素社会、持続的社會を構築しなければならないことを示している。それら社會を構築する1つの基盤となる要素が、食料およびエネルギーであり、また、それらの社會を両立する形態に有機物質を基盤とした循環型社會がある。つまり、バイオマスを基盤とした食料・エネルギー生産・消費形態の循環関係を適正化する、地域内自給構造および地域間連携構造を形成することが、低炭素社会かつ持続的社會の基盤を構築することになると考える。

このような、低炭素社会に寄与する地域連携を具現化するためには、数値データから具体的に評価し、設計していく必要がある。そこで本研究では、バイオマスを基盤とした食料、エネルギー、二酸化炭素（CO₂）の観点から、都市・農村連携および地域連携による自給構造を定量的に明確化することを試みた。対象とするパイロットモデル地域をバイオマス賦存量が豊富な北海道とし、各振興局（旧支庁）における食料・エネルギー生産、CO₂削減ポテンシャルと2030年の人口予測から導いた食料・エネルギー消費、CO₂排出を定量的に評価し、都市・農村連携、地域連携による自給構造を考察した。

2. 研究目的

本研究は、パイロットモデル地域を北海道とし、市町村レベル・振興局（旧支庁）レベル・地域生活経済圏レベルにおいて、物質・エネルギー的に連携し補完関係を築くことにより空間的な結合モデルを作り、食料・エネルギー・CO₂などの自給の面から評価する低炭素型自給構造（低炭素化クラスター）の可能性を検討する。次の2段階の目的を設定する。第一に、地域のバイオマス循環資源を都市・農村連携および地域連携により徹底的に循環利活用することによる、食料・エネルギー自給と低炭素化のポテンシャルを定量的に評価する。第二に、評価された自給および低炭素化のポテンシャルを実現すべき第一次産業や住民における物質・エネルギー利活用条件および都市と農村の連携のあり方を明示する。その際に、石油価格変動や人口変動を加味し、2030年へ向けた食料・エネルギー自給のための将来像として提言する。

3. 研究方法

（1）第一次産業を主体とした都市・農村連携コンセプト

石油の枯渇が懸念されているが、現在のような安価な石油が使用不可能となると、物質やエネルギーの移動可能範囲は著しく狭められることが容易に予測できる。このような状況で、将来的

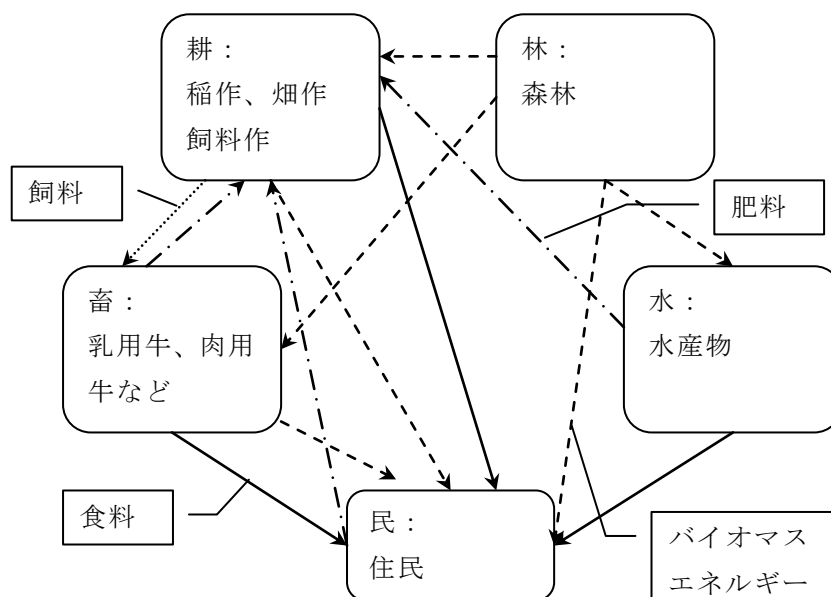


図3-1 農村内循環（複合的循環型生物生産システム）

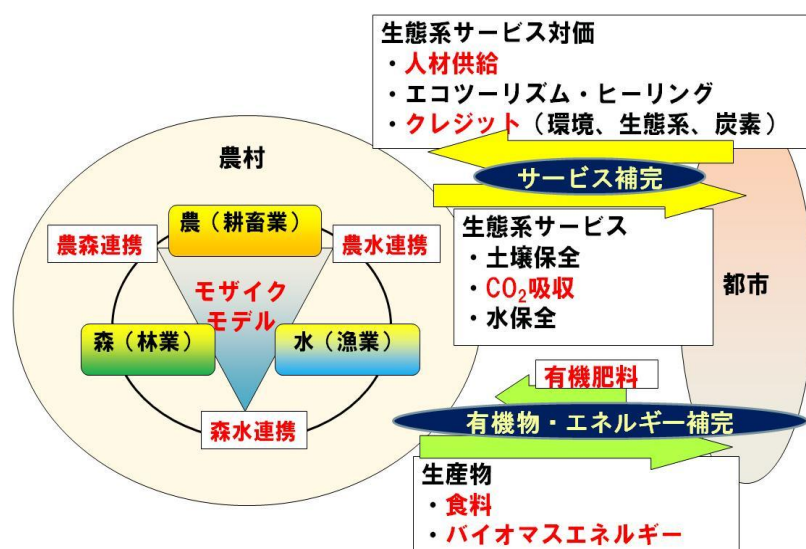


図3-2 都市・農村連携

に食料とエネルギーを確保するためには、地域の資源を有効に活用しなければならない。地域の特色に従った食料・エネルギーの生産消費バランスを考えることが重要であり、そのバランスを考慮した物質循環から地域内食料・エネルギー自給の最適化を図る必要がある。この地域内食料・エネルギー自給には、耕畜林水産業と住民間の物質・エネルギー的結束を図り、系全体の生産消費バランスを適正化するプロセスが必要である。つまり、耕畜林水産業と住民間での種々の物質（生産物、飼料、肥料など）・エネルギーの産出投入の特色から適正な循環構造（複合的循環型生物生産システム）を導くことが必要となる（図3-1）。例えば、複合的循環型生物生産システムを、①耕：稲作・畑作・飼料作、②畜：乳用牛・肉用牛、③林：森林、④水：水産物、⑤民：住民分野で構成し、分野間の物質・エネルギーフローを考えてみる。複合的循環型生物生産システムでは、これら分野間の物質・エネルギーの相互交換が重要な要素となり、耕分野からは、住民

へ食料を供給すると共に、稲わら・牧草などの飼料と稲わら・麦わらなどのバイオマス燃料を畜分野や民分野へ供給することができる。逆に、畜分野や民分野からは、肥料（窒素：Nやリン：P）を稲作・畑作・飼料作へ供給することができる。また、林分野からは多量の本質バイオマスがエネルギー源として各分野に供給できる。このように、各分野間の相互作用により、地域（農村）内の物質循環とエネルギーフローが成立し、複合的の生物生産システムの自立性が保たれることとなる。

また、特に重要と考えられることが、都市と農村の関係である。バイオマスの観点からすると、都市は全面的に食料を農村に依存する構造をもつことから、持続的循環を考慮した農村への補完・保障システムを構築する必要がある（図3-2）。つまり、都市住民から排出される食料廃棄物や汚泥廃棄物を有機肥料化し、農村に還元するなどの物質循環システムが重要であり、さらに、都市は農村の食料やバイオマスエネルギー生産の基礎になる生態系サービスに対して、対価を保障することが求められる。これはクレジットなどの金銭的保障と同時に人材や技術での貢献も考えられる。

よって、次のことが地域連携による低炭素型自給構造を確立する要素となると考える。①農村地域のバイオマス循環・徹底利用システムの構築。②都市－農村連携による有機物・エネルギー補完と生態系サービス保障システムの構築。

（2）2030年に向けた石油価格高騰、飼料・肥料価格上昇、人口推移の設定

本研究において、2030年の北海道を想定した分析を行うにあたり、原油価格、飼料価格、肥料価格、人口の推移に関して以下のような仮定をおいた。

1）原油価格

図3-3に原油価格高騰を予測した図を示す。この図は、U.S. Energy Information Administrationが2010年5月に出したレポート”Annual Energy Outlook 2010 with Projections to 2035”から引用した。このレポートでは、国際的な原油供給状況や原油産出国の協調などを加味し、2035年までの原油価格推移を3ケース（Reference case, Low Oil Price case, High Oil Price case）予測している。本研究の分析においては、Reference caseを採用し、2030年における原油価格をUS\$124/バレルと仮定した。

2）飼料、肥料価格

飼料、肥料の価格は、様々な要因で変化するが、今回の分析においては、2030年の価格を推定するために、2008年（平成20年）に石油価格が著しく高騰した時の飼料、肥料価格推移データを基にして、石油価格が飼料、肥料価格に及ぼす影響を仮定した。図3-4(a)は2008年（平成20年）の石油価格が高騰した時期前後の灯油（店頭）、配合飼料（kg-TDN（可消化養分総量）当たり換算）、硫酸（kg-N当たり換算）、過りん酸石灰（kg-P当たり換算）の価格推移を示している。配合飼料、硫酸、過りん酸石灰それぞれに灯油価格との連動が少なからず見られた。これらのデータから線形回帰により、灯油価格と飼料、窒素肥料、リン肥料の相関を求め（図3-4(b)）、2030年における原油価格高騰時のそれぞれの価格を推定した。

3) 人口推移

図3-5は、北海道総合未来研究所¹⁾による2035年までの北海道および札幌市の人口推移予測から作成した図である。2030年には2005年人口に対して北海道で約2割の人口減少が起きると予測されている。北海道の最大人口都市である札幌市は、2030年までに約200万人の人口がほぼ保たれる予測がなされている。これは、人口減少の大半が農山漁村地域で発生することを示しており、4～5割の減少率を示す町村が大半である。今回の分析では、北海道の市町村毎に、北海道総合未来研究所¹⁾による2030年の人口推計を採用した。

(3) 食料、エネルギー（バイオマス）自給ポテンシャル評価方法

本分析では、要素を第一次産業および民生（家庭）としてコンパートメント化し、それぞれのコンパートメントでの物質・エネルギー産出投入量により、食料・エネルギー・CO₂の需給（排出削減）ポテンシャル（過不足量、自給率）を評価する方法とした。物質・エネルギーなどに関する地域連携を明確化するために、振興局および地域生活経済圏（中核都市圏と地域中心都市と農山漁村との結びつきを強め、ともに発展し、地域の振興を図り、高まっていくさまざまなニーズを満たす地域的なまとまり（図3-6）ごとに需給（排出削減）ポテンシャルをまとめた。

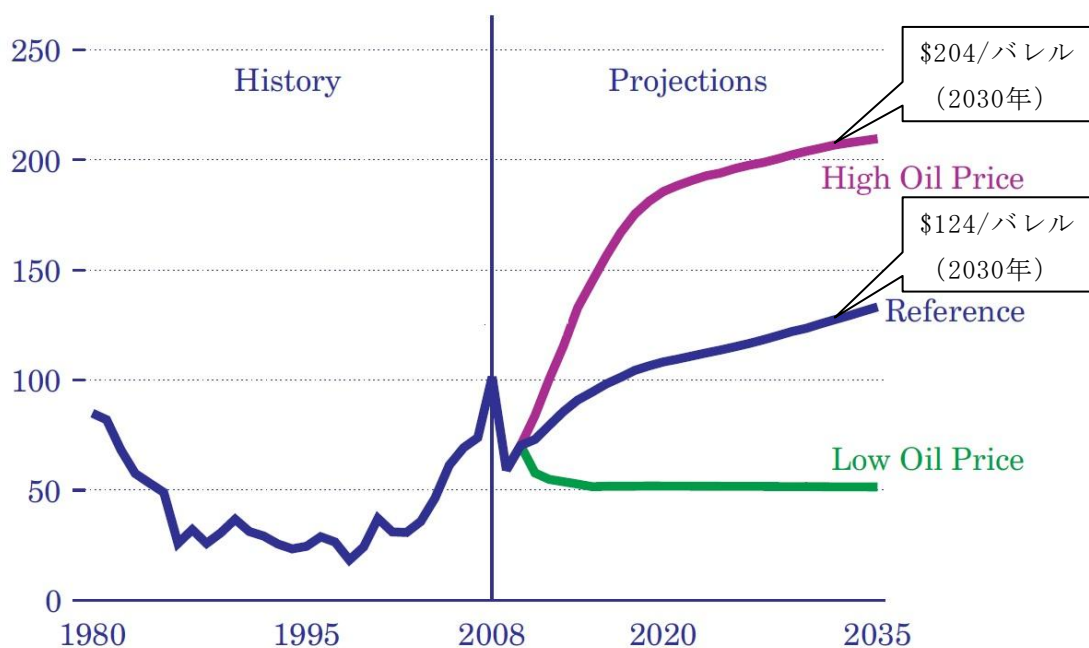
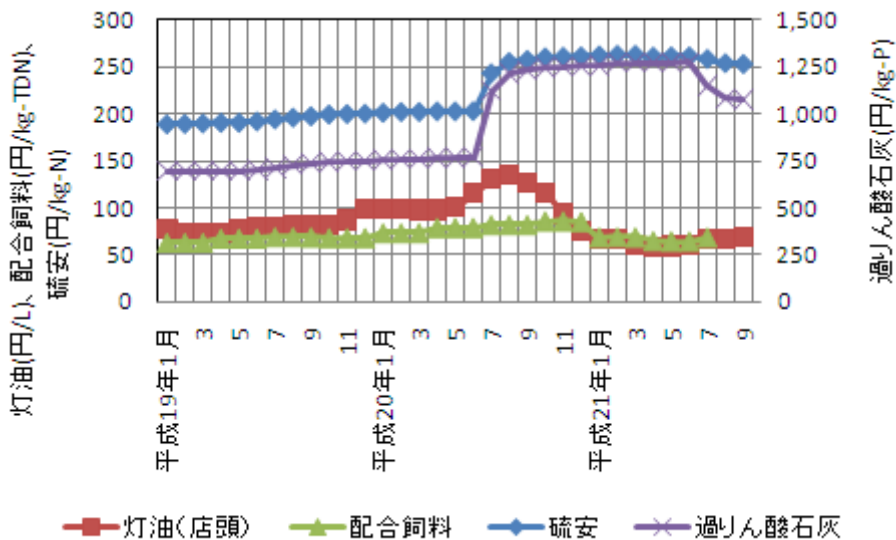
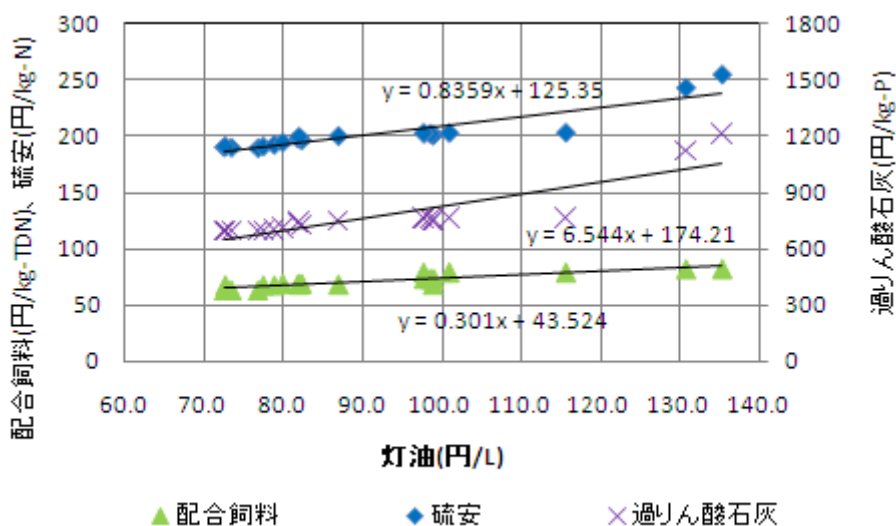


図3-3 原油価格



(a) 灯油価格と飼料、肥料価格推移



(b) 灯油価格による飼料、肥料価格の設定

図3-4 飼料、肥料価格

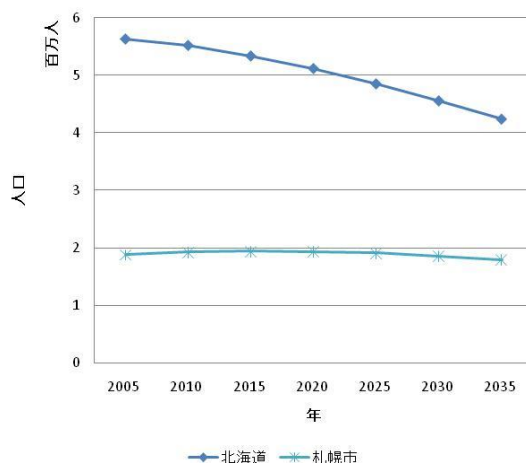


図3-5 将来人口推計¹⁾

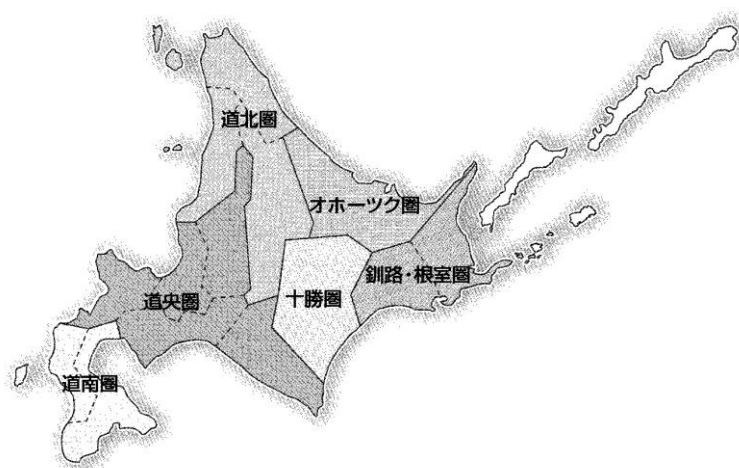


図3-6 地域生活経済圏

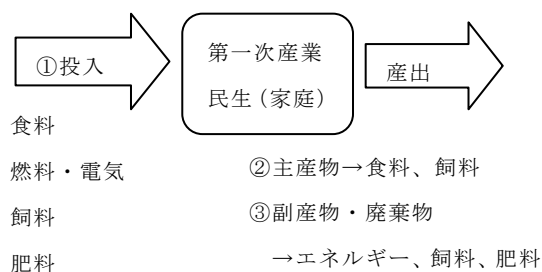


図3-7 産出・投入

1) 産出投入原単位

図3-7のように、コメ、ムギ、乳用牛、肉用牛、人工林、サケなど北海道の主要な第一次産業と民生（家庭）を要素としてコンパートメント化し、その産出投入に関し単位面積当たりや1頭当たり、1人当たり、漁獲量1ton当たりでの原単位を算出した。燃料作物として北海道での開発が進められているヤナギ栽培も要素に入れた。また、林業は、間伐材のエネルギー転換利用を主眼に考えたため人工林のみを対象とした。投入要素は、食料、燃料・電気、飼料、肥料とし、産出要素として主産物、副産物、廃棄物とした。主産物は、食料もしくは飼料として利用され、副産物・廃棄物は、エネルギー、飼料、肥料へ利用できると仮定した。副産物・廃棄物に関する変換形態は、チップ化・ペレット化やメタンガス発酵などの燃料利用に実績のあるものを対象とし、エネルギー利用を優先することとした。エネルギーは、直接燃焼とメタン発酵によるガス燃焼を考え、直接燃焼のボイラー効率85%とガス燃焼のボイラー効率90%を考慮に入れた。飼料は可消化養分総量（TDN）で評価し、肥料は窒素（全窒素）：Nとリン：Pを対象成分とした。CO₂に関して、投入された燃料・電気から排出量に換算し、副産物や廃棄物から得られたバイオマスエネルギーを灯油換算し削減量を計算した。また、森林管理によるCO₂吸収量に関して北海道下川町のデータを採用した。各要素に関する投入・産出物および利用項目を表3-1(a)、(b)に整理し、その考え方を基に算出した原単位を表3-2(a)、(b)に整理した。

表3-1(a) 各要素における産出投入物と利用項目：耕畜林業および民生（家庭）

要素	産出投入物*	利用項目**	要素	産出投入物*	利用項目**
コメ	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②コメ ^{注4)} ③稲ワラ、モミガラ ^{注5)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} エネルギー(直) ^{注2)} 、 飼料(TDN換算) ^{注9)} 、 堆肥(N, P換算) ^{注10)} 、 ^{注3)}	タマネギ	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②タマネギ ^{注4)} ③葉 ^{注5)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} エネルギー(直) ^{注5)}
コムギ	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②コムギ ^{注4)} ③麦ワラ ^{注5)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} エネルギー(直) ^{注4)} 、 堆肥(N, P換算) ^{注10)} 、 ^{注3)}	マメ科 牧草	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②牧草 ^{注9)} ③-	飼料(TDN換算) ^{注9)}
ダイズ	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②大豆 ^{注4)} ③豆ガラ ^{注5)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} エネルギー(直) ^{注5)}	青刈リ トウモ ロコシ	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②トウモロコシ ^{注4)} ③-	飼料(TDN換算) ^{注9)}
アズキ	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②アズキ ^{注4)} ③豆ガラ ^{注5)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} エネルギー(直) ^{注5)}	乳用牛	①燃料・電気 ^{注10)} 、飼料 ^{注11)} ②牛乳 ^{注4)} ③糞尿 ^{注12)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} エネルギー(ガ) ^{注13)} 、液肥(N, P換算) ^{注14)}
パレイ シヨ	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②パレイシヨ ^{注4)} ③茎葉 ^{注5)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} 堆肥(N, P換算) ^{注10)} 、 ^{注3)}	肉用牛	①燃料・電気 ^{注10)} 、飼料 ^{注15)} ②肉 ^{注16)} ③糞尿 ^{注12)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} エネルギー(ガ) ^{注13)} 、液肥(N, P換算) ^{注14)}
テンサイ	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②テンサイ ^{注4)} ③ビートパルプ ^{注6)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} 、 ^{注7)} 飼料(TDN換算) ^{注9)}	ヤナギ	①燃料・電気 ^{注17)} 、肥料 ^{注18)} ②木質燃料 ^{注19)} ③-	エネルギー(直)
スイー トコー ン	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②スイートコーン ^{注4)} ③茎葉 ^{注5)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} 、 ^{注8)} 飼料(TDN換算) ^{注9)}	人工林	①燃料・電気 ^{注20)} ②(用材、パルプ材) ③間伐材 ^{注20)}	エネルギー(直)
ニンジン	①燃料・電気 ^{注1)} 、肥料 ^{注3)} ②ニンジン ^{注4)} ③葉 ^{注5)}	食料(カロリー換算) ^{注6)} 堆肥(N, P換算) ^{注10)} 、 ^{注3)}	民生(家 庭)	①燃料・電気 ^{注21)} 、食料 ^{注20)} ②- ③生活系厨芥、下水汚泥 ^{注8)}	エネルギー(ガ) ^{注13)} 、液肥(N, P換算) ^{注14)}

* ①：投入物、②：主産物、③：副産物・廃棄物

** (直)：直接燃焼、(ガ)：メタン発酵によるガス燃焼、TDN：可消化養分総量、N：窒素、P：リン

注1) 軽油、ガソリン、電力の消費量より計算した²⁾。注2) エネルギー、飼料、肥料への利用配分は、稲ワラは飼料へ15%、堆肥・敷料へ15%、エネルギー利用へ残り70%、モミガラは堆肥・敷料へ60%、エネルギー利用へ40%を考えた。利用配分および発熱量、エネルギー換算式は、「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」^{7,8)}による。注3) 堆肥化過程での気散、溶脱など窒素損失率を24%¹¹⁾と仮定した。注4) エネルギー、肥料への配分は、堆肥・敷料へ30%、エネルギー利用へ70%を考えた⁸⁾。利用配分および発熱量、エネルギー換算式は、「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」⁷⁾による。

注5) 発熱量は北海道立総合研究機構工業試験場での分析データを採用した。豆ガラ：16.7 GJ/dry-t。タマネギ皮14.1 GJ/dry-t。

注6) 繊維質分6%¹²⁾がビートパルプとして発生すると仮定した。注7) 糖分16.5%¹²⁾が砂糖として発生すると仮定した。注8) 収穫量中の子実割合0.58⁵⁾により、食料重量を算出した。

注9) マメ科牧草としてアルファルファを考え、チモシーとの混播(アルファルファ率70%以上)とし目標収量を5,000 kg/10aとした。

注10) 『平成18年畜産物生産費』¹³⁾より、「光熱水料及び動力費」北海道平均(乳用牛：18,012円、肉用牛：3,820円)から電気、水道、燃料費が1/3ずつに配分されると仮定し、電力量(乳用牛：590 kWh、肉用牛：64 kWh)と燃料量(乳用牛：79 L、肉用牛：17 L、軽油と仮定)を算出した。

注11)「日本飼養標準」¹⁴⁾より成雌牛の維持に要する養分量4.14 kg-TDN/日/頭（体重650 kg）と産乳に要する養分量0.31 kg-TDN/乳量kg（乳脂率3.5%）から算出した。

注12)経産牛の排泄物量¹⁵⁾から糞（乳用牛：30 kg/頭/日、肉用牛：15 kg/頭/日）、尿（乳用牛：20 kg/頭/日、肉用牛10.5 kg/頭/日）を採用した。

注13)メタンガス発生量(Nm³)=バイオマス量(t)×A×B×C×D

*	A ^{16,17)}	B ¹⁷⁾	C ¹⁷⁾	D ¹⁷⁾
牛糞尿	6.2	30	695	60
生活系厨芥	11.6	98.2	740	62
下水汚泥	2.1	50	550	62
*A：有機乾物割合(%)、B：有機物分解率(%)、C：ガス発生量(Nm ³ /t-分解有機物)、D：メタン含有量(%)				

メタン発熱量：0.03718 GJ/Nm³。

注14)発生廃棄物量を液肥重量とし、湿物中の窒素とリンの含有率データ（窒素：0.31%、リン：0.07%）¹⁰⁾を採用した。

注15)「日本飼養標準」¹⁴⁾より去勢牛の肥育に要する養分量5.0 kg-TDN/頭/日（体重500 kg/頭：肥育期間体重の中間値、増体量0.6 kg/頭/日）から算出した。

注16)和牛肥育牛の肥育期間19か月¹⁴⁾より、年間出荷頭数は肥育牛飼養頭数の0.6倍（12ヶ月/19ヶ月）と仮定した。生体1頭当たりの枝肉量中の筋肉、脂肪部分（278.8 kg/頭）¹⁴⁾を肉量とした。

注17)収穫にデントコーンハーベスタなどを使用することから、青刈リトウモロコシと同等の生産体系と仮定した。

注18)「北海道におけるヤナギ栽培マニュアル（案）」¹⁸⁾によると、窒素施肥量は、4年収穫の場合、1年目：0、2年目：45、3年目150、4年目：120 kg-N/haとなっている。平均値をとり、年間78.8 kg-N/haとした。

注19)「北海道におけるヤナギ栽培マニュアル（案）」¹⁸⁾より、乾物重量で16 t/ha/年を採用した。

注20)伊達市における間伐材資料より計算した。

注21)北海道における民生（家庭）の消費エネルギー137 PJ/年（2005年度）¹⁹⁾より、1人当たりの消費量を換算した。

表3-1(b) 各要素における産出投入物と利用項目：漁業

要素	産出投入物*	利用項目**	要素	産出投入物*	利用項目**
イワシ	①燃料 ^{注22)} ②イワシ ²²⁾ ③廃棄物 ^{注23)}	食料(カロリー換算) ⁶⁾ 堆肥(N, P換算) ⁶⁾	サンマ	①燃料 ^{注22)} ②サンマ ²²⁾ ③廃棄物 ^{注23)}	食料(カロリー換算) ⁶⁾ 堆肥(N, P換算) ⁶⁾
サケ	①燃料 ^{注22)} ②サケ ²²⁾ ③廃棄物 ^{注23)}	食料(カロリー換算) ⁶⁾ 堆肥(N, P換算) ⁶⁾	イカ	①燃料 ^{注22)} ②イカ ²²⁾ ③廃棄物 ^{注23)}	食料(カロリー換算) ⁶⁾ 堆肥(N, P換算) ⁶⁾
スケソウダラ	①燃料 ^{注22)} ②スケソウダラ ²²⁾ ③廃棄物 ^{注23)}	食料(カロリー換算) ⁶⁾ 堆肥(N, P換算) ⁶⁾	ホタテ貝	①燃料 ^{注22)} ②ホタテ貝 ²²⁾ ③廃棄物 ^{注23)}	食料(カロリー換算) ⁶⁾ 堆肥(N, P換算) ⁶⁾
ホッケ	①燃料 ^{注22)} ②ホッケ ²²⁾ ③廃棄物 ^{注23)}	食料(カロリー換算) ⁶⁾ 堆肥(N, P換算) ⁶⁾	コンブ	①燃料 ^{注22)} ②コンブ ²²⁾ ③廃棄物 ^{注23)}	食料(カロリー換算) ⁶⁾ 堆肥(N, P換算) ⁶⁾

*①：投入物、②：主産物、③：副産物・廃棄物

** (直)：直接燃焼、(ガ)：メタン発酵によるガス燃焼、TDN：可消化養分総量、N：窒素、P：リン

注22)水産庁統計²¹⁾より「魚類」「貝類」「その他の水産動物類」「海藻類」ごとに漁獲量と油費を累計し、漁獲量1t当たりの油消費量（軽油57円/Lで計算）に換算した。

注23)『日本食品標準成分表』⁶⁾の廃棄率を採用した。

表3-2(a) 原単位表：耕畜林業および民生（家庭）

		コメ ・ ・ 1	コム ギ ・ ・ 2	ダイズ ・ ・ 3	アズキ ・ ・ 4	バレイ シヨ ・ ・ 5	テン サイ ・ ・ 6	スイト コン ・ ・ 7	ニン ジン ・ ・ 8
食料・ ・ F0 (Gcal/unit)	産出o	19.5	14.4	10.6	10.0	27.6	36.9	6.0	12.1
	投入i	0	0	0	0	0	0	0	0
エネルギー・ ・ E (GJ/unit)	産出o***	50.9	38.1	16.7	5.9	0	0	0	0
	投入i	9.5	7.3	8.8	10.7	18.1	11.3	28.1	11.0
飼料・ ・ FE (t-TDN/unit)**	産出o	0.4	0	0	0	0	2.7	2.1	0
	投入i	0	0	0	0	0	0	0	0
肥料N*・ ・ N (kg-N/unit)	産出o	5.8	6.0	0	0	31.0	0	0	21.0
	投入i	75.0	100.0	20.0	40.0	60	160.0	120.0	120.0
肥料P*・ ・ P (kg-P/unit)	産出o	0.7	1.6	0	0	3.9	0	0	1.9
	投入i	35.0	66.0	88.0	88.0	88.0	110.0	106.0	66.0
CO ₂ ・ ・ C (t-CO ₂ /unit)	排出o	0.6	0.5	0.6	0.7	1.2	0.8	1.9	0.7
	削減re	3.4	2.6	1.1	0.4	0	0	0	0
	吸収a	0	0	0	0	0	0	0	0
unit		ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
		タマ ネギ ・ ・ 9	マメ 科牧 草 ・ ・ 10	青刈り トウモ ロコシ ・ ・ 11	乳用牛 ・ ・ 12 ****	肉用牛 ・ ・ 13 ****	ヤナ ギ ・ ・ 14	人工 林 ・ ・ 15	民生 (家 庭) ・ ・ 16
食料・ ・ F0 (Gcal/unit)	産出o	20.1	0	0	5.2×z	0.5×z	0	0	0
	投入i	0	0	0	0	0	0	0	0.9
エネルギー・ ・ E (GJ/unit)	産出o***	8.1	0	0	4.8	2.4	212.2	42.2	0.3
	投入i	109.8	6.2	7.4	5.1	0.9	7.4	2.8	24.3
飼料・ ・ FE (t-TDN/unit)**	産出o	0	6.5	8.9	0	0	0	0	0
	投入i	0	0	0	4.9	1.8	0	0	0
肥料N*・ ・ N (kg-N/unit)	産出o	0	0	0	56.7	28.8	0	0	9.8
	投入i	150.0	0	140.0	0	0	78.8	0	0
肥料P*・ ・ P (kg-P/unit)	産出o	0	0	0	12.8	6.5	0	0	4.4
	投入i	66.0	44.0	88.0	0	0	4.4	0	0
CO ₂ ・ ・ C (t-CO ₂ /unit)	排出o	7.4	0.4	0.5	0.4	0.1	1.9	0.2	1.8
	削減re	0.5	0	0	0.3	0.2	14.2	2.8	0.02
	吸収a	0	0	0	0	0	0	10.0	0
unit		ha	ha	ha	頭	頭	ha	ha	人

*N：窒素、P：リン

** TDN：可消化養分総量 (Total Digestible Nutrients)

*** 副産物、廃棄物などのバイオマスによるエネルギー（直接燃焼、メタンガス化燃焼）

**** 乳用牛と肉用牛の食料産出原単位は、飼料自給率 fe_r を考慮する。ただし、 $fe_r < 100$ のとき $z = fe_r / 100$ 、 $fe_r \geq 100$ のとき $z = 1.0$ 。

2) 計算方法

表3-2(a)(b)で設定した原単位を共通に使用し、それら原単位と市町村毎の土地面積、家畜頭数、住民人数、漁獲量の地域データをそれぞれ掛け合わせて、第一次産業各項目と民生（家庭）における食料、エネルギー、飼料、肥料N、肥料P、CO₂に関する需給量（排出・削減吸収量）ポテンシャルを計算した。そして、それらを市町村内で集計し、需給量（排出・削減吸収量）ポテンシャルから過不足量や自給率を計算した。

この市町村毎のポテンシャル計算値からエリアを広げて集計し、各振興局、地域生活経済圏、北海道のポテンシャルを算出した。

表3-2(b) 原単位表：漁業

		イ ワ シ ・ ・ 17	サ ケ ・ ・ 18	ス ケ ソ ウ ダ ラ ・ ・ 19	ホ ッ ケ ・ ・ 20	サ ン マ ・ ・ 21	イ カ ・ ・ 22	ホ タ テ 貝 ・ ・ 23	コ ン ブ ・ ・ 24
食料・・F0 (Gcal/unit)	産出o	1.1	0.8	0.3	0.6	2.2	0.6	0.4	1.5
	投入i	0	0	0	0	0	0	0	0
エネルギー・・E (GJ/unit)	産出o***	0	0	0	0	0	0	0	0
	投入i	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	44.3	23.4	19.6
飼料・・FE (t-TDN/unit)**	産出o	0	0	0	0	0	0	0	0
	投入i	0	0	0	0	0	0	0	0
肥料N*・・N (kg-N/unit)	産出o	15.8	14.3	17.4	13.8	8.9	9.5	0.7	0
	投入i	0	0	0	0	0	0	0	0
肥料P*・・P (kg-P/unit)	産出o	1.2	1.0	1.6	1.1	1.3	0.9	0.1	0
	投入i	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₂ ・・C (t-CO ₂ /unit)	排出o	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	3.0	1.6	1.3
	削減re	0	0	0	0	0	0	0	0
	吸収a	0	0	0	0	0	0	0	0
unit		ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton

* N: 窒素、P: リン

** TDN: 可消化養分総量 (Total Digestible Nutrients)

*** 副産物、廃棄物などのバイオマスによるエネルギー (直接燃焼、メタンガス化燃焼)

3) 計算式

まず、地域データに関するベクトルXを式(1)のように定義する。

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_{15}, x_{16}, \dots, x_{24}) \quad (1)$$

式(1)において、 x_1 : コメ栽培面積、 x_2 : コムギ栽培面積、 x_{15} : 人工林面積、 x_{16} : 人口、 x_{24} : コンプ漁獲量を示している。その他のXベクトル要素は、表3-2(a) (b)の各項目につけた番号と対応している。また、表3-2(a) (b)のように食料、エネルギー、飼料、肥料N、肥料P、CO₂に関する原単位ベクトルをそれぞれF0、E、FE、N、P、Cと定義し、産出に関するベクトルにはo、投入に関するベクトルにはiの符号をそれぞれ付けた (CO₂に関しては、排出に関するベクトルにo、削減に関するベクトルにre、吸収に関するベクトルにaの符号をつけた)。これらのベクトル要素は、表3-2(a) (b)に示す数値となる。

過不足量および自給率の算出式は、式(2)~(13)のように定義した。ここで、(x, y)はベクトルxとベクトルyの内積を示す。

$$f_{o_s} = (F0_o, X) - (F0_i, X) \quad (2)$$

$$f_{o_r} = \frac{(F0_o, X)}{(F0_i, X)} \times 100 \quad (3)$$

$$e_s = (E_o, X) - (E_i, X) \quad (4)$$

$$e_r = \frac{(E_o, X)}{(E_i, X)} \times 100 \quad (5)$$

$$f e_s = (FE_o, X) - (FE_i, X) \quad (6)$$

$$f e_r = \frac{(FE_o, X)}{(FE_i, X)} \times 100 \quad (7)$$

$$n_s = (N_o, X) - (N_i, X) \quad (8)$$

$$n_r = \frac{(N_o, X)}{(N_i, X)} \times 100 \quad (9)$$

$$p_s = (P_o, X) - (P_i, X) \quad (10)$$

$$p_r = \frac{(P_o, X)}{(P_i, X)} \times 100 \quad (11)$$

$$c_s = \{(C_{rs}, X) + (C_a, X)\} - (C_o, X) \quad (12)$$

$$c_r = \frac{(C_{rs}, X) + (C_a, X)}{(C_o, X)} \times 100 \quad (13)$$

ここで、各計算値記号は、fo_s：食料過不足量、fo_r：食料自給率、e_s：エネルギー過不足量、e_r：エネルギー自給率、fe_s：飼料過不足量、fe_r：飼料自給率、n_s：肥料N過不足量、n_r：肥料N自給率、p_s：肥料P過不足量、p_r：肥料P自給率、c_s：CO₂正味排出量、c_r：CO₂正味排出率をそれぞれ表している。

4) 地域データの仮定

北海道の2030年における地域データXを次のように仮定した。

x₁～x₁₃、x₁₅、x₁₇～x₂₄：現状（2005～2009年ベース）の土地利用面積、飼養頭数、漁獲量²²⁻²⁵)に変化がないものとし、耕作放棄地にはマメ科牧草を栽培する。

x₁₄：現在燃料作物として開発中のヤナギは、「原野」として登録されている土地²⁶)すべてに栽培する。

x₁₆：人口は、北海道全体で約2割減（2005年比）とし、各市町村における減少率推定値により計算された値¹)を採用した。

4. 結果・考察

(1) 北海道全体の食料・エネルギー自給ポテンシャル～2030年

図3-2の都市・農村連携コンセプトを基に、食料、エネルギー、飼料、肥料に関する2030年の北海道の自給ポテンシャルを推計した。また、石油価格高騰、人口減少、GRP（域内総生産：Gross Regional Products）減少を考慮に入れて、農業所得変化、CO₂排出量変化、炭素クレジットの可能性を検討した。ケーススタディとして、①農村孤立型（BAU：Business as usual）と②都市・農村連携型（バイオマス徹底循環利用）を仮定した（図3-8）。

表3-3に推計結果を示す。農村孤立型では、北海道全体で、2030年の人口減少および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、石油価格高騰（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、食料、エネルギーの自給率が大きく上昇する可能性（食料自給率197から295%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（表3-4）の道央圏外地域の赤字8,128億円をほぼ補てんでできるレベルである。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が示された。

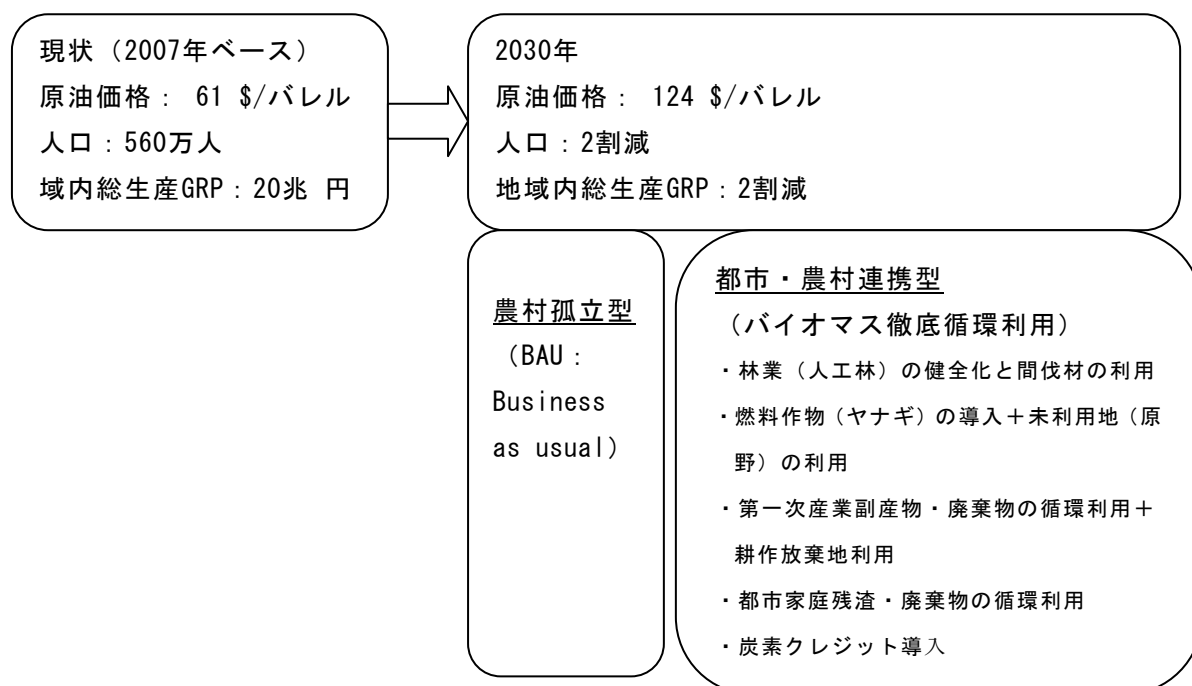


図3-8 2030年北海道ポテンシャル推計の設定

表3-3 2030年北海道のポテンシャル

	現状 (2007年ベース) 石油価格：61 \$/バレル 人口：560万人	2030年 石油価格高騰：124 \$/バレル 人口減少：(2割減)			
食料自給率(%)	197	農村 孤立型	226	都市・ 農村 連携型	295
エネルギー自給率 (バイオマス)(%)	0~2		0~2		A: 28 B: 94
飼料自給率(%)	40~50		40~50		129
肥料N自給率(%)	0~7		0~7		140
肥料P自給率(%)	0~3		0~3		51
農業所得(億円)	3743		20%減		10%増
CO ₂ 排出量(万 t-CO ₂)	5927		4415		69%削減
炭素クレジット(億円)	—		—		C: 2504 D: 7670

N：窒素、P：リン。

A：産業、民生（家庭＋業務）、運輸のエネルギー需要を考えた場合。

B：民生（家庭のみ）、第一次産業のエネルギー需要を考えた場合。

C：スタンレビュー(2006)より（社会的コスト85 \$/t-CO₂）9.8千円/t-CO₂と仮定

D：北海道S町実績（森林管理コスト）30千円/t-CO₂と仮定

表3-4 道内域際収支(億円)²⁷⁾ (2003年)

道央圏	8,128
道南圏	▲1,440
道北圏	▲3,193
オホーツク圏	▲1,091
十勝圏	▲1,377
釧路・根室圏	▲1,027

▲は、赤字であることを示す。

(2) 市町村別食料・エネルギー自給ポテンシャル

図3-9、10、11は、それぞれに食料、エネルギー（バイオマス）、CO₂に関する市町村別のポテンシャルを数値分類した図である。食料に関しては、市町村別人口の需要に対して、食料供給能力がどの程度存在するかを需給量の過不足量で示している。エネルギーに関しては、市町村別の民生（家庭のみ）と第一次産業でのエネルギー需要に対して、市町村別に地域内のバイオマスエネルギー供給能力を過不足量で表している。CO₂に関しては、市町村別の民生（家庭のみ）と第一次産業でのCO₂排出量に対して、市町村別でのバイオマスを使用した石油代替によるCO₂削減量と森林管理によるCO₂吸収能力増分を削減吸収量とし、それらの差からCO₂の正味排出量を算出している。

このような市町村別の分析から、食料、エネルギー、CO₂の全てに関して、人口200万都市の札幌市を含む道央圏が北海道の中で食料・エネルギー不足量およびCO₂排出量で著しく大きなことが見て取れる。その他の農山漁村地域では、食料やエネルギーの自給可能なポテンシャルを有しており、CO₂の正味排出量に関しても地域内で削減・吸収できるポテンシャルを有している。

このように、市町村別で食料、エネルギー、CO₂および飼料、肥料の地域需給関係を整理することにより、空間的な補完関係や効率的な市町村連携、都市－農村連携が提案でき、このような連携設計は北海道全体の食料・エネルギー自給構造および低炭素化の向上につながる。

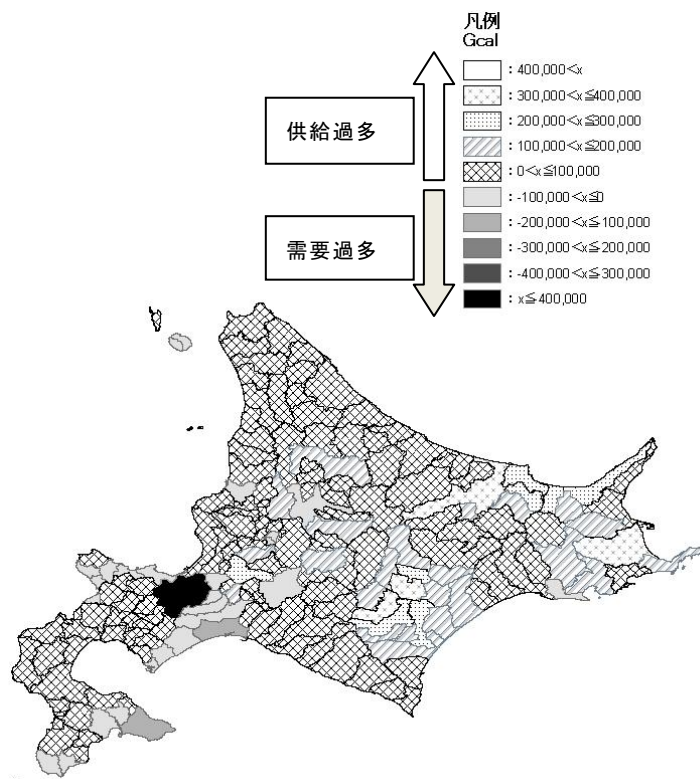


図3-9 市町村別需給関係（食料）

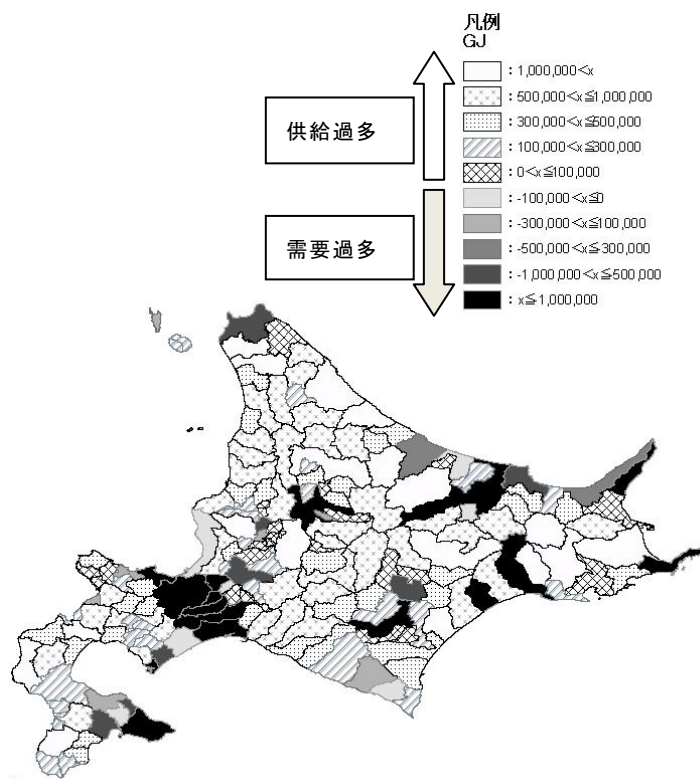


図3-10 市町村別需給関係（エネルギー：バイオマス）
民生（家庭のみ）+ 第一次産業の需要を考えた場合

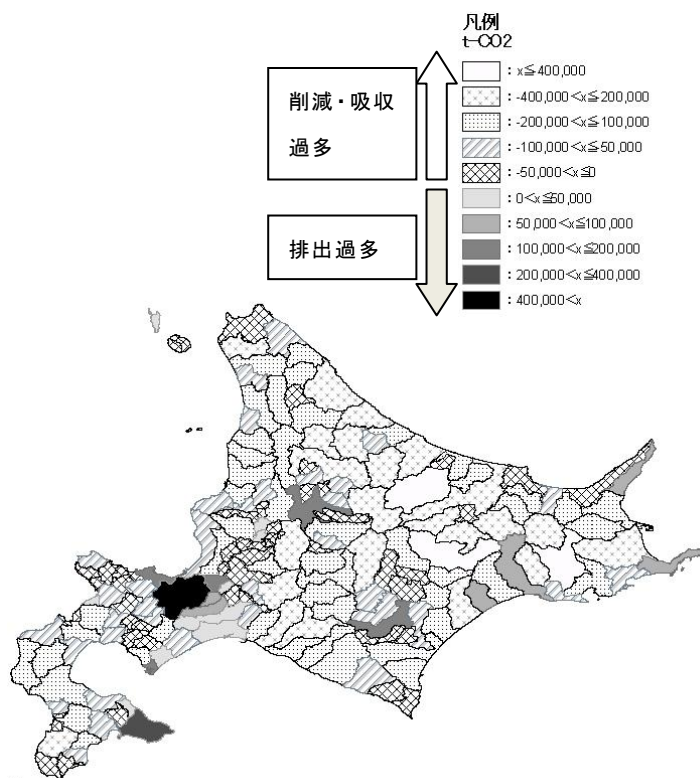


図3-11 市町村別排出－削減・吸収関係（CO₂）
民生（家庭のみ）＋第一次産業の排出を考えた場合

（3）都市・農村連携および地域連携による食料・エネルギー自給構造

表3-5に、食料、エネルギー、飼料、肥料（N,P）に関する過不足量およびCO₂に関する正味排出量を各振興局別および地域生活経済圏、北海道全体で計算した結果を示す。

1）食料に関して：北海道は295%の自給率が可能と推定された。食料が不足している振興局は石狩、渡島の2地域であり、札幌市を含んでいる石狩振興局の不足が顕著である。しかし、石狩地域の不足分は、空知振興局などの石狩周辺の振興局で十分に補うことができ、道央圏でみると、100%の食料自給率を確保することが可能と考えられる。

2）エネルギーに関して：民生（家庭）と第一次産業で消費するエネルギーに対し、バイオマスエネルギーによる自給率は、北海道で94%と推定され、北海道は民生（家庭）や第一次産業の暖房などのエネルギーをバイオマスエネルギーで補うポテンシャルを有すると考えられる。食料と同時にエネルギーが不足している振興局は、石狩、胆振と渡島の3地域であるが、特に石狩地域の不足分をいかに周辺の地域で補完するかが重要であることが分かる。例えば、過剰量の最も大きな道北圏と十勝、オホーツク、釧路・根室の経済圏からエネルギー余剰分を供給することで、道央圏のエネルギー不足量はほぼ補える可能性がある。

3）飼料に関して：顕著に不足している振興局は見られず、各地域で安定した自給率が確保できると考えられる。

4）肥料に関して：北海道は窒素成分N140%、リン成分P51%の自給率と推定され、Nに関して自給

表3-5 北海道、経済圏、振興局別計算結果

		北海道	道央圏	道南圏	道北圏	十勝圏	オホーツク圏	釧路・根室圏
fo	s:Tcal	+8,268	-7	+144	+1,425	+3,073	+2,388	+1,243
	r:%	295	100	145	423	1282	1266	702
e	s:TJ	-10,290	-40,052	+212	+15,358	+5,017	+4,554	+4,621
	r:%	94	52	101	176	145	131	125
fe	s:10 ³ t-TDN	+978	+345	+49	+294	-84	+82	+291
	r:%	129	223	145	159	91	117	128
n	s:t-N	+29,108	+17,239	+1,760	-578	+727	-2,098	+12,057
	r:%	140	189	137	95	105	83	298
p	s:t-P	-29,856	+2,142	-180	-6,277	-12,013	-8,225	-5,303
	r:%	51	117	92	37	26	24	44
c	s:10 ³ t-CO2	+13,189	+396	+1,392	+4,389	+2,109	+3,140	+1,763
	r:%	207	106	215	379	351	390	225

		道央圏					道南圏	
		石狩	後志	空知	胆振	日高	渡島	檜山
fo	s:Tcal	-1,633	+254	+1,288	+8	+76	-18	+162
e	s:TJ	-48,919	+3,752	+5,711	-2,195	+1,599	-6,168	+6,380
fe	s:10 ³ t-TDN	+38	+43	+46	+49	+169	+24	+25
n	s:t-N	+19,590	-1,137	-4,626	+2,290	+1,123	+3,488	-1,728
p	s:t-P	+7,879	-952	-3,418	-56	-1,310	+584	-764
c	s:10 ³ t-CO2	-3,247	+773	+1,545	+570	+754	+411	+980
		道北圏					釧路・根室圏	
		上川	留萌	宗谷	十勝	網走	釧路	根室
fo	s:Tcal	+995	+183	+248	十勝圏 と同様	オホーツク圏 と同様	+478	+765
e	s:TJ	+4,589	+5,781	+4,987			+3,362	+1,259
fe	s:10 ³ t-TDN	+62	+80	+153			+171	+119
n	s:t-N	-722	-443	+586			+5,493	+6,564
p	s:t-P	-3,347	-1,169	-1,761			-2,269	-3,033
c	s:10 ³ t-CO2	+2,285	+1,082	+1,022			+1,310	+453

fo: 食料、e: エネルギー、fe: 飼料、n: 窒素、p: リン、em: CO2

s: 過不足量、r: 自給率(cは、s: 正味排出量、r: 正味排出率)

+ : 過剰、- : 不足(網かけ)(cは、+ : 削減・吸収多、- : 排出多(網かけ))

可能なポテンシャルを有するが、Pは全体的に不足している。Nは、経済圏の中で各振興局が相互に補うことによりほぼ自給できることを示しているが、不足している道北、オホーツクの経済圏はそれぞれ、十勝圏、釧路・根室圏と連携する方向性が見えてくる。

5) CO₂に関して: バイオマスの徹底利用および森林整備によるCO₂吸収能力増加により、北海道は民生(家庭)および第一次産業から発生するCO₂の約2.0倍を削減・吸収できるポテンシャルを有すると推定された。振興局別では、石狩地域のみでCO₂排出が上回っており、札幌市など都市のCO₂負荷は、石狩振興局で補いきれない。

以上、北海道の食料・エネルギーに関する低炭素型自給構造を考える場合、人口200万都市の札幌市を含む石狩振興局を周りの地域や経済圏でいかに支えていくかという構造が見えてくる。低炭素社会を目指すとき、地域間の物流距離は小さい方が有利であることから、石狩地域とその周りの地域で構成する道央圏の自給構造が重要となる。

食料に関しては、道央圏で自給(自給率100%)でき、石狩振興局が周りの振興局(特に空知振興

局)から供給され、その食料生産に必要な窒素成分を石狩振興局から後志、空知などの周りの振興局へ還元する相互補完構造が見えてくる。また、エネルギーに関しては、経済圏間での連携を考える必要があり、石狩振興局の顕著な不足分を道央圏はもとより他経済圏で連携し、補完する必要がある。ただし、ここで考えた投入エネルギーは、民生(家庭)と第一次産業で消費される分のみであり、産業、運輸、民生(業務)の消費分を合わせると、北海道のバイオマスによるエネルギー自給率ポテンシャルは約28%と推定された。最後に、CO₂に関しては、石狩地域の排出量過多は、道央圏の削減・吸収量で相殺できる。

(4) 都市と農村の位置づけ

図3-12(a)~(c)は、食料、エネルギー、肥料(N,P)、CO₂、GRPに関して、都市と農村の関係を明確化した図である。図3-12(a)は、食料とエネルギーに関する図、図3-12(b)は肥料Nと肥料Pに関する図、図3-12(c)は、GRPとCO₂に関する図である。北海道では、人口および都市機能(行政、経済、医療、教育、文化)などの点から「中核都市」、「中核都市群」、「地域中心都市」という都市の定義を設けている。図3-12は各都市の定義およびその他の農山漁村地域に分類し各市町村の推計値をプロットした。

いずれの図においても、札幌市は他の市町村に比べ著しい乖離が見られ、典型的な都市の特徴を示している。中核都市は、農山漁村地域と対極の位置にあることが明確となった。一方、地域中心都市は、その位置付けにおいて農山漁村地域とほぼ同等と見ることができる。よって、北海道の場合、中核都市と地域中心都市・農山漁村地域という対極構造が以下のように明確になった。

1) 食料とエネルギー

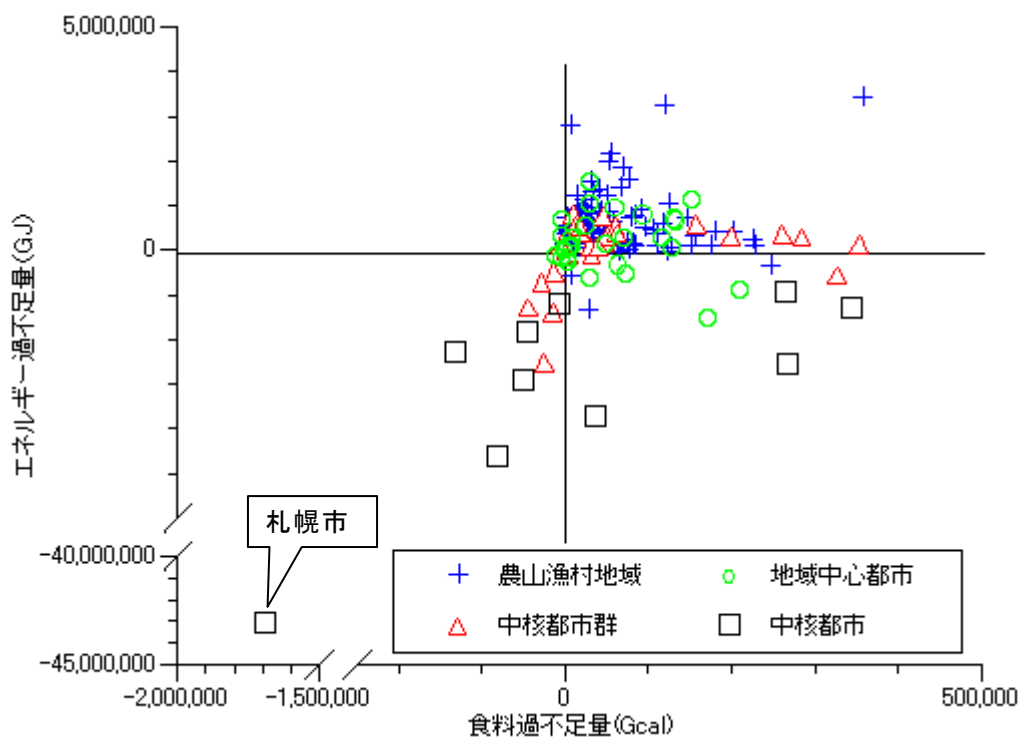
図3-12(a)は、横軸に食料の過不足量、縦軸にエネルギーの過不足量を示し、各市町村の推計値をプロットしている。中核都市は、食料を充足できる都市も一部見られるが、食料・エネルギーの両者を自給できるポテンシャルは有していないと推計された。一方、地域中心都市および農山漁村地域は、食料・エネルギーの両者を自給できるポテンシャルを有しており、中核都市への供給基地として位置づけることができた。

2) 肥料Nと肥料P

図3-12(b)は、横軸に肥料窒素(N)の過不足量、縦軸に肥料リン(P)の過不足量を示し、各市町村の推計値をプロットしている。中核都市は、その人口の多さに比較して耕地面積が少ないことから、家庭から出る排泄物や食料残渣といった肥料要素が過剰となり、N成分やP成分がその都市の需要を上回っていることが分かった。一方、地域中心都市および農山漁村では、N成分やP成分が不足傾向にあり、特にP成分において不足傾向が強い。ここに、食料生産システムの循環から考えて、都市の農村への有機物還元という役割が見て取れた。

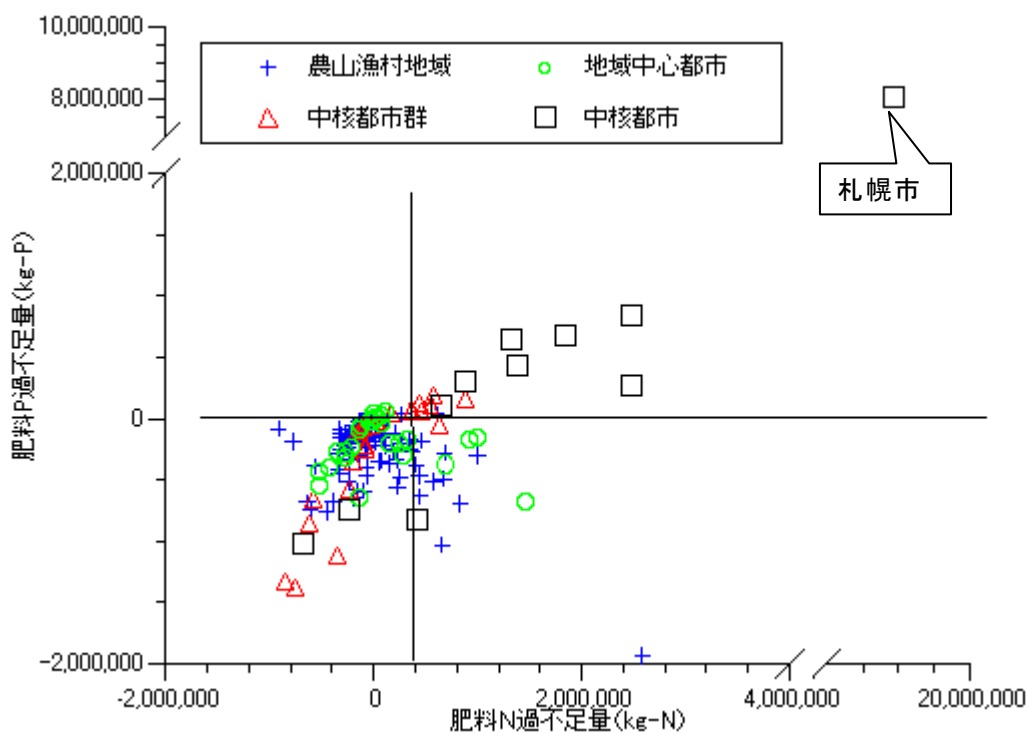
3) GRPとCO₂

図3-12(c)は、横軸にGRP(域内総生産)、縦軸にCO₂の正味排出量を示し、各市町村の推計値をプロットしている。GRPと正味CO₂排出量は、ほぼ正の関係にあると見られ、低炭素社会の構築において、都市における生産による、自らでは処理できないCO₂排出量を農村のCO₂削減吸収能力の余剰分に依存しなければならない構造が見えた。これは森林など農村の自然生態系のサービスに都市の生産が依存することを意味し、生産コストとして自然生態系サービスへの対価を考え、生産を持続的に維持するための自然生態系維持管理資金を農村へ還元すべき都市の役割が明確となった。

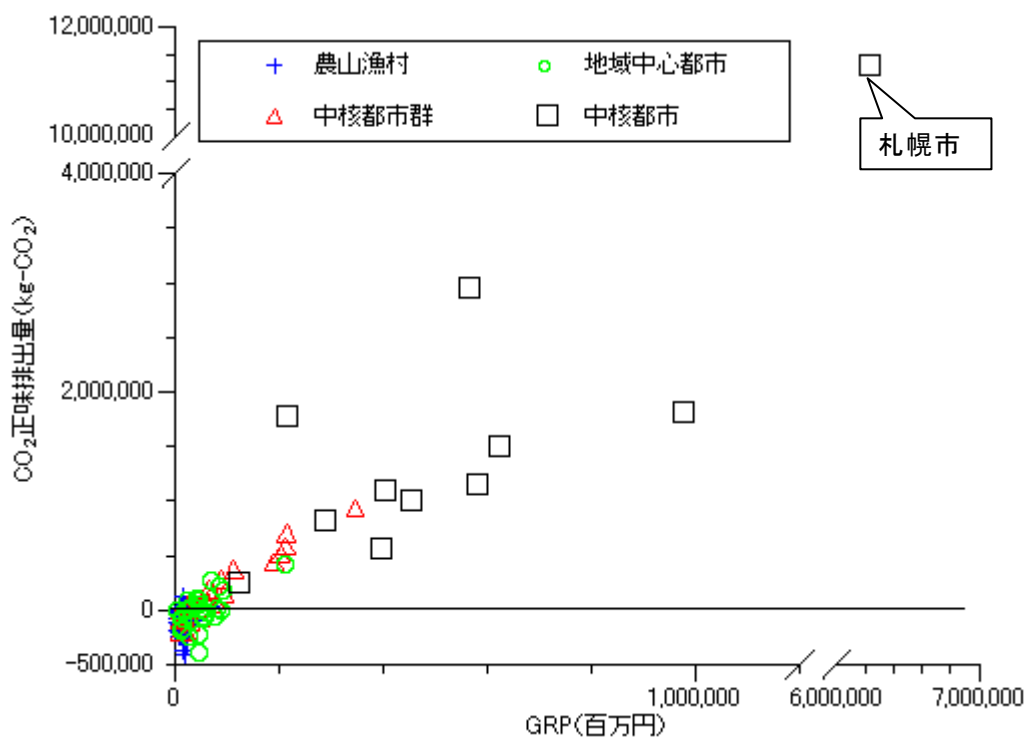


(a) 食料とエネルギー

エネルギー過不足量は、民生（家庭）＋一次産業を需要側の対象とした。



(b) 肥料Nと肥料P

(c) GRPとCO₂正味排出量

CO₂の正味排出量は、産業・民生・運輸全体を排出側の対象とした。

+は排出量の方が多く、-は削減吸収量の方が多くを示す。

図3-12 都市と農村の関係性

このように、都市と農村は食料・エネルギー・CO₂に関する役割において対極の位置づけにあり、北海道全体の持続性・安定性を担保するためには、それぞれに連携することによる相互補完の有効性が明確化された。

(5) 2030年北海道に向けた提言

今回、まず、2030年に向けた北海道の全体の食料、エネルギー、農業経済、CO₂に関するポテンシャルを「農村孤立型」および「都市・農村連携型」というシナリオの下で評価し、「都市・農村連携型」における自給構造および経済的自立の可能性を見出した。次に、食料、エネルギー（バイオマス）に関する自給ポテンシャルおよびCO₂に関する正味排出ポテンシャルを各振興局および経済圏別で分析し、地域が連携し物質とエネルギーを相互補完することにより、北海道は低炭素社会に向けた自給構造を確立できるポテンシャルを有していることを示した。これは、生態系を考慮しつつ農村地域のバイオマスを徹底的に利活用し、地域内有機物循環システムを構築した上で成り立つ構造であった。そして、各市町村別の推計値から都市と農村の食料・エネルギー・CO₂に関する位置づけを明確化し、低炭素社会を前提とした2030年の北海道の持続性・安定性のために都市・農村連携による補完構造の必要性を明確化した。

図3-2で示した都市・農村連携のコンセプトに従い分析した結果から、2030年北海道への提言を表3-6にまとめた。まず、食料・エネルギー供給基地として農村地域の耕畜林水産業の連携による

物質・エネルギー循環構造の構築が重要となる。この構造によりバイオマスを徹底的に利用できるシステムを構築し、農村地域の食料・エネルギー供給能力およびCO₂削減吸収能力の持続性・安定性を図ることが北海道の低炭素社会基盤を形作ると考える。そして、農村から都市への食料・エネルギー供給とこれに対する肥料成分などの有機物還元や農村から都市へ提供しているCO₂削減吸収能力などの生態系サービスとこれに対する対価還元がさらなる低炭素社会の結実に重要である。都市と農村が連携し物質・エネルギーやCO₂に関してそれぞれの特徴を補完し合うことにより、低炭素型持続型社会の現実性が増すと考えられる。

表3-6 2030年北海道への提言

・ 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		
農村側 ①林業（人工林151万ha）の再生（378⇒800万m ³ /年の用材生産） ②燃料作物（ヤナギなど）栽培・利用システムの構築、未利用地の徹底利用 ③耕畜林水産業の有機物循環システムの確立（飼料・肥料の自給構造） ④6次産業化 ⑤地域一次産業技術・地域知の復活	都市側 ①木材の利用率向上、木質生活への移行 ②生態系サービスに対する対価供給（炭素クレジット、生態系オフセットなど） ③一次産業への人材派遣、長期滞在、農業体験、臨時就農、援農 ④家庭からなどの有機廃棄物の農村への還元システム確立	制度など ①国有林・私有林の地域連携利用 ②CO ₂ クレジット単価の安定化 ③持続的生態系管理保障制度の確立

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

本研究は、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。

（2）環境政策への貢献

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。

6. 引用文献

- 1) 北海道未来総合研究所：北海道180市町村の人口シミュレーションー将来推計人口改訂版 2005～2035年ー（2008）
- 2) 上川農業改良普及センター富良野支所：新富良野地域農業生産技術体系 Ver. 2007（2008）
- 3) 北海道農政部：北海道施肥ガイド（施肥標準・診断基準・施肥対応），北海道農業改良普及協会（2002）
- 4) 農林水産省北海道農政事務所統計部：北海道農林水産統計年報（総合編）平成18年～19年，北海道農林統計協会（2008）
- 5) 小川和夫，竹内豊，片山雅弘：北海道農業試験場研究報告，Vol. 149，pp. 57-91（1988）
「北海道の耕草地におけるバイオマス生産量及び作物による無機成分吸収量」
- 6) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会：5訂増補日本食品標準成分表，国立印刷局（2005）
- 7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：バイオマス賦存量・利用可能量の推計「エネルギー量の推計方法（改訂版）」
<<http://www.nedo.go.jp/library/biomass/kinds2/ens3.pdf>>（2008年12月2日参照）
- 8) 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：バイオマス賦存量・利用可能量の推計「稲わら賦存量、利用可能量の算出方法」「籾殻賦存量、利用可能量の算出方法」「麦わら賦存量、利用可能量の算出方法」「賦存量利用可能量食品系」「賦存量利用可能量下水汚泥系」

- <<http://www.nedo.go.jp/library/biomass/kinds/index.html>> (2008年12月2日参照)
- 9) 農業・食品産業技術総合研究機構：日本標準飼料成分表（2009年版），中央畜産会（2010）
 - 10) 農林水産バイオリサイクル研究 システム化サブチーム：バイオマス利活用システムの設計と評価（2006）
 - 11) 安田環，越野正義：環境保全と新しい施肥技術，養賢堂（2001）
 - 12) 日本甜菜製糖株式会社：「ビート、糖分の他の成分は？」
<<http://www.nitten.co.jp/column/component.html>>（2010年2月10日参照）
 - 13) 農林水産省大臣官房統計部：平成18年度畜産物生産費，農林統計協会（2008）
 - 14) 畜産大事典編集委員会：畜産大事典，養賢堂（1996）
 - 15) 有機質資源化推進会議：有機廃棄物資源化大事典，農山漁村文化協会（1997）
 - 16) Heinz Schulz, Barbara Eder著，浮田良則監訳：バイオガス実用技術，オーム社（2002）
 - 17) 日本有機資源協会事務局：バイオガスシステムの現状と課題，日本有機資源協会（2003）
 - 18) 国土交通省北海道開発局：北海道におけるヤナギ栽培マニュアル（案）
<http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/press/press_h2203/biomass3_siryo5-6.pdf>（2010年8月18日参照）
 - 19) 経済産業省北海道経済産業局：北海道のエネルギー消費動向について2005年度版
<<http://www.hkd.mlit.go.jp/hokpp/doukou05/energy2005.pdf>>（2009年2月18日参照）
 - 20) 農林水産省：平成18年度食料需給表
<<http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/index.html>>（2009年3月12日参照）
 - 21) 水産庁：平成17年（度）漁業経営調査報告
<<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001064491>>（2011年2月17日参照）
 - 22) 北海道総合政策部地域行政局統計課：第30回平成21年北海道市町村勢要覧，北海道統計協会（2009）
 - 23) 農林水産省北海道農政事務所統計部編：北海道農林水産統計年報（総合編）平成18年～19年，北海道農林統計協会（2008）
 - 24) 農林水産省北海道農政事務所統計部編：北海道農林水産統計年報（農業統計市町村別編）平成17年～18年（2007）
 - 25) 農林水産省大臣官房統計情報部編：2000年世界農林業センサス第1巻北海道統計書（林業編），農林統計協会（2002）
 - 26) 北海道企画振興部地域行政局統計課編：北海道統計書平成20年，北海道統計協会（2008）
 - 27) 国土交通省北海道開発局開発監理部開発計画課：平成15年北海道内地域間産業連関表（2008）

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 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」
- 2) 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）」

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 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」，No. 331, pp. 16-20 (2008)
「食料自給率回復への鍵」
- 2) 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」
- 3) 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」
- 4) 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」
- 5) 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」
- 6) 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－気候変動とエネルギー危機が農業に与える影響－」
- 7) 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－21世紀農業の設計－」
- 8) 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」
- 9) 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」
- 10) 佐藤寿樹，辻宣行，田中教幸，大崎満：環境技術，Vol. 39, No. 9, pp. 18-23 (2010)
「「サトヤマ工学」をめざして」

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 佐藤寿樹，辻宣行：EPR評価方法と評価事例集2009年度版，もったいない学会EPR部会 (2009)
「木質ペレット製造のEPR(Energy Profit Ratio)－伊達市木質ペレットプラントの事例分析－」
- 2) 佐藤寿樹，宮崎稔也，辻宣行：北海道大学サステナビリティ・ガバナンス・プロジェクト (SGP) 最終事業報告書，pp. 82-94 (2010)
「木質ペレットのエネルギー収支比評価：EPRによる木質バイオマスエネルギー評価」

- 3) 辻宣行, 佐藤寿樹: 北海道大学サステナビリティ・ガバナンス・プロジェクト (SGP) 最終事業報告書, pp.74-81 (2010)
「富良野市における自給率の潜在的可能性」
 - 4) 辻宣行, 田中教幸, 佐藤寿樹, 余川雅彦, 大崎満: 北海道大学サステナビリティ・ガバナンス・プロジェクト (SGP) 最終事業報告書, pp.64-73 (2010)
「地域持続性に関する現状と諸問題」
 - 5) 大崎満: 北海道大学サステナビリティ・ガバナンス・プロジェクト (SGP) 最終事業報告書, pp.183-189 (2010)
「北海道における持続的社会の形成－北海道モデルに向けて－」
 - 6) 佐藤寿樹, 宮崎稔也, 天野治: 2009年度バイオマス検討会報告書, 北海道大学サステナビリティ学教育研究センター・もったいない学会EPR部会 (2010)
「木質ペレット製造のEPR分析」
 - 7) N. Tsuji, T. Sato: Designing Our Future: Local perspective on Bioproduction, Ecosystems, and Humanity (Sustainability Science Series), UNU Press, pp.163-173 (2011)
“Analysis of Energy, Food, Fertilizer and Feed: Self-sufficiency potentials”
 - 8) 梅田靖ら編: 都市・農村連携と低炭素社会のエコデザイン, 技報堂出版, pp.77-115 (2011)
「第Ⅱ部 2. 北海道独立構想(執筆担当: 大崎満, 田中教幸, 辻宣行, 佐藤寿樹, 工藤康彦, 安藤隆, 関根嘉津幸, 長岡哲郎)」
- (2) 口頭発表 (学会等)
- 1) 大崎満, 佐藤寿樹: 第1回調和社会構築に関する日中シンポジウム, 中国湖州, 2008年12月22日
「北海道エネルギー自給モデルの考え方とバイオマスエネルギーの可能性」
 - 2) N. Tsuji, International Conference on Sustainability Science 2009 (ICSS2009), Tokyo, Japan, 6 February 2009
“Possibility of food and energy self-sufficiency in Hokkaido”
 - 3) 佐藤寿樹, 辻宣行, 田中教幸, 大崎満: システム農学2009年度春季シンポジウム・一般研究発表会, 東京, 2009年5月29-30日
「農畜林業の最適配分による食料・エネルギー自給ポテンシャル」
 - 4) T. Sato, N. Tsuji, N. Tanaka, M. Osaki: RISS International Conference “Sustainability transition”, Osaka, Japan, 22-23 July 2009
“An Analysis of Food and Energy Self-sufficiency Potential of Furano City, Hokkaido, Japan: Based on Organic Material Recycling among Agriculture, Livestock, Forestry and Citizenry”
 - 5) M. Osaki, T. Sato, N. Tsuji, N. Tanaka: Joint Symposium between Dongguk University and Hokkaido University at Dongguk University, Korea, 13 August 2009
“Future Design on the Material Cycling of Agriculture, Livestock, Forestry and Citizenry: For Constructing Food and Energy Self-sufficiency Society”
 - 6) 佐藤寿樹, 辻宣行: もったいない学会第3回EPR部会シンポジウム, 東京, 2009年6月25日

「バイオマス（特に木質系）の総合的利用」

- 7) 佐藤寿樹, 辻宣行: 北海道大学サステナビリティ・ウィーク2009 講演会「石油ピーク後の日本と北海道のありかたを考える」, 北海道, 2009年11月14日
「持続的自律北海道へのシナリオづくりーバイオマスの視点からー」
- 8) M. Osaki: Sustainability Weeks 2009 Opening Symposium, Hokkaido, Japan, 2 November 2009
“Proposal: Hokkaido Independence Plan for Sustainable Development -Self-sufficiency on Food and Energy-”
- 9) 辻宣行: 中国・北海道環境シンポジウム(第21回北太平洋学術交流会議北海道), 北海道, 2009年12月4日
「日本の食糧・エネルギー自律型農業を目指して」
- 10) T. Sato, N. Tsuji, N. Tanaka, M. Osaki: EcoDesign2009, Hokkaido, Japan, 7-9 December 2009
“Land Use Analysis for Food and Energy Self-sufficiency in Hokkaido - A Case Study on Furano City”
- 11) 大崎満: 国際バイオ燃料シンポジウム「農業イノベーションによるバイオ燃料社会の構築」, 茨城, 2009年12月11日
「バイオ燃料の問題点と可能性」
- 12) 辻宣行: 国際バイオ燃料シンポジウム「農業イノベーションによるバイオ燃料社会の構築」, 茨城, 2009年12月11日
「木質ペレットのエネルギー収支」
- 13) 大崎満: 公開シンポジウム 都市・農村の展開可能性, 京都, 2010年1月27-28日
「都市ー農村空間結合による低炭素化クラスター形成」
- 14) 大崎満: 日本土壌肥料学会2010年度北海道大会 公開シンポジウム, 北海道, 2010年9月9日
「食料生産と環境・生態を調和させる未来の自立型農業」
- 15) 大崎満: 北海道大学サステナビリティ・ウィーク2010 公開シンポジウム, 北海道, 2010年11月1日
「北海道自立に向けて」
- 16) 大崎満: 富良野地区合同ワークショップ, 北海道, 2010年11月26日
「新しいサトヤマについて」
- 17) 大崎満: グリーンテクノバンクシンポジウム「地球温暖化と北海道農業」, 北海道, 2010年12月20日
「石油に依存しない持続的な循環型農業の展望」
- 18) 佐藤寿樹, 大崎満, 辻宣行, 田中教幸: 第15回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪, 2011年1月14日
「農畜林業における循環形成からみた都市・農村連携」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 北海道大学サステナビリティ・ウィーク2010公開シンポジウム「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」（2010年11月1日、北海道大学学術交流会館、観客50名）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 北海道大学学術成果コレクションHUSCAP（2010年12月16日、北海道大学サステナビリティ・ウィーク2010公開シンポジウム「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」での発表内容紹介）
- 2) 北大時報（2010年12月、サステナビリティ・ウィーク2010公開シンポジウム「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」紹介、57頁）
- 3) 日本経済新聞（2011年3月1日、循環型モデル研究：下川町との連携協定、35頁）

(6) その他

特に記載すべき事項はない。