

自治体間における CO₂ 排出権取引の可能性に関する研究

○河野凌大 市川学 (芝浦工業大学)

Study on the possibility of CO₂ emission trading between local governments

* R.Kouno and M.Ichikawa (Shibaura Institute of Technology)

概要一 現在、世界では地球環境問題が注目されている。中でも CO₂ 排出量増加問題については特に問題となっている。また、日本では地方の過疎化が進んでいる。地方税が税収の多くを占める自治体で、過疎化が進んでいる地方部は歳入自体が減っている。その結果、地方の過疎化が進む要因となっている。このような2つの問題に対して、過疎化が進む地方自治体の歳入を確保しつつ、CO₂ の増加も抑えるために、基礎自治体、企業間での排出権取引制度の導入の可能性について検討する。各自治体間の排出枠を確定するために、CO₂ 排出量と吸収量を算定し各自治体の排出枠の算定を行う。排出枠の値段設定などのシナリオを考え、数理モデルを構築し、自治体間排出権取引が実現可能かを検討する。

キーワード：排出権取引、自治体、シナリオ分析

1 研究背景

現在、日本では若者の都市部への人口流出による地方の過疎化、世界では地球温暖化がそれぞれ大きな問題となっている。

日本の問題である、若者の都市部への人口流出による地方の過疎化は、過疎化地域の人口減少問題の原因となっており、この人口減少問題の影響として、地域公共交通の撤退・縮小、空き家、空き店舗などの増加、地域コミュニティの機能低下などがある。実際に国土交通省¹⁾の人口減少を実感する場面のアンケートによると、Table1に示すように、

- ・空き家の増加
- ・商店街にシャッターが下りたままの店舗が増えた。
- ・バスや鉄道の本数が減った、路線がなくなった。

の3つは地方で高い割合となっている。このような悪影響をもたらす人口減少問題が、若者の人口流出と低い出生率を同時に進行させており、悔過的にさらなる過疎化を進行させている。

また、過疎化している地区の基礎自治体では人が少なくなり、総務省²⁾の地方財政白書に記載されている自治体の収入の大きな割合である市町村民税も減少している。実際に人口と市町村民税収額の増減率の相関関係³⁾、Fig.1によると、人口の減少率の大きい自治体ほど税収の減少率も大きい傾向がうかがえる。人口の減少率が最も大きい秋田県や二番目に大きい和歌山県では、税収も大きく減少している。実際に、人口減少による将来的な税収の予測を公表している秋田市では、2029年には税収が26億円余り減少すると試算されている⁴⁾。

そのため、基礎自治体の歳入自体が少なくなってしまう、住民サービスも減少、より過疎化が進行してしまうという状況に陥っている。和歌山県では污水处理施設の普及状況の指標を示す污水处理人口普及率が51.％と全国平均88.9％と比較しても低い状況になっている⁵⁾。污水处理人口普及率が低いと公共用水域の保全、生活環境の向上等が難しくなる。

他にも和歌山県の過疎地域の学校数は小学校が191校あったものが114校に減少し、中学校も86校あったものが65校に減少している。秋田県ではTable2で示すように過疎地域における上下水道の整備について⁶⁾、上水道は普及率が全国と比較して11.3％、全

県と比較して4.4％下回っている。また、下水道についても、普及率は全国と比べ19.9％と大きな差があるほか、全県と比較しても12.5％下回っている。

Table1 人口減少を実感する場面のアンケート

	都市圏 (n=537)	地方 (n=656)
学校が廃校になった	27.2%	26.8%
外で子どもの声を聞かなくなった	38.5%	37.3%
商店街にシャッターが下りたままの店舗が増えた	51.6%	58.1%
百貨店やスーパーがなくなった	8.9%	13.0%
バスや鉄道の本数が減った、路線がなくなった	13.2%	21.8%
管理されない公園等の公共施設が増えてきた	4.5%	3.0%
医療施設、福祉施設が減少した	4.3%	2.1%
空き家を見かけるようになった	46.9%	53.0%
転出者の噂を聞くようになった	4.5%	4.7%
地域に活気がなくなった	20.1%	19.8%

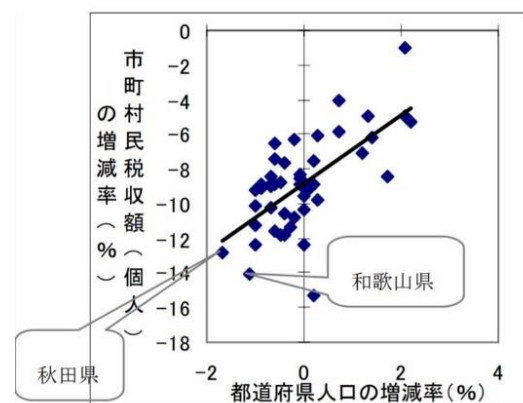


Fig.1 人口減少と市町村民税収額の相関関係

Table2秋田県と全国の水道，下水道普及率の比較

	全国	全県	過疎地域
水道普及率	97.7%	90.8%	86.4%
下水道普及率	79.8%	72.4%	59.9%

この地方の過疎化問題に対して、地方自治体が住民サービスの向上や過疎化の対策を行うために必要な歳入を確保する制度として、税外収入を増やしていくことが必要になっている。

地方の過疎化問題について今までに行われてきた対応は、全国市長会過疎関係都市連絡協議会⁷⁾の過疎対策で、特に成果があった分野と、なお課題が残っている分野のアンケートによると、Table3に示すように、市町村道・農道・林道等の道路の整備、上下水道施設等の整備、観光・交流施設等の整備、教育・文化施設等の整備など、過疎債を活用したハード整備分野に成果があったとの回答が多い。その反面、集落の維持・活性化、自然環境、景観等の維持・保全、都市から地方への移住・交流の促進などについては、成果があったとの回答は少ない。

また、これまでの過疎対策により、成果があったとする分野においても、なお課題があるとの回答が多く、特に市町村道・農道・林道等の道路の整備については、最も成果があったとする一方で、なお最大の課題と考えられている。また、地域交通の確保、集落の維持・活性化、農林水産用の復興、地域医療体制の確保について課題があるとの回答も多い。これらの分野は成果があったとの回答が少ないものであり、現在の過疎地域において、解決すべき重要な課題と言える。従って、まだまだハード面もソフト面も改善しなくてはいけない部分が多い。そのため税外収入を増やしていくために行っていた取り組みとして、各種証明書の取得や粗大ごみの回収の際の料金などが行われていた。しかしながら、自治体が平成24年度に集めた手数料や使用料は、歳入総額の約2%程度⁸⁾で終わってしまっている。

Table3 これまでの過疎対策で、特に成果があった分野と、なお課題が残っている分野のアンケート

過疎化への取り組み	成果があった分野	なお課題が残る分野
市町村道・農道・林道等の道路の整備	21%	12%
上下水道施設等の整備	15%	8%
情報通信施設等の整備	8%	8%
教育・文化施設等の整備	11%	7%
防災施設等の整備	10%	5%
観光・交流施設等の整備	11%	4%
地域医療体制の確保	3%	8%
高齢者福祉の増進	4%	3%
地域交通の確保	3%	10%
農林水産業の振興	9%	10%
地場産業、商工業の振興	2%	5%
企業誘致、企業立地の促進	1%	5%
都市から地方への移住・交流の促進	1%	4%
集落の維持・活性化	0%	8%
自然環境、景観等の維持・保全	0%	2%
その他	0%	1%

次に、世界で問題となっている、地球温暖化問題である。世界の平均気温は産業革命前よりもすでに1度上昇しており、毎年のように異常気象による河川の氾濫や土砂災害などが世界で多発している。この先1.5度、2度と気温が上昇していくと悪影響がさらに深刻になっていくことが予想される。

実際、地球温暖化に関する世界の科学的な知見を集めたIPCCが、上昇する気温が2度と1.5度のわずか0.5度の違いでさえ、海面上昇や酸性化、干ばつや洪水を引き起こす極端な気象変化を増加させると警鐘を鳴らしており、もはや上昇する気温を2度に抑えられたとしても、ある程度の影響は避けられなくなっている。そのため、温暖化の進行を食い止めるためには、上昇する気温を1.5度に抑えることを目指して温室効果ガスの排出量を減少させていく必要がある。

このような地球温暖化の原因になっている温室効果ガスには、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、フロンガスがある。二酸化炭素は地球温暖化に及ぼす影響がもっとも大きな温室効果ガスで、その割合は約80%を占めている。そのため、特に二酸化炭素を注力して減らしていく必要がある。

この地球温暖化問題について今までに行われてきた対応は、世界で行われている、国間でCO₂の排出量を抑えるためのCO₂の排出量取引制度である。排出量取引とは、各企業・国などが温室効果ガスを排出することのできる量を排出枠という形で定め、排出枠を超えて温室効果ガスを排出してしまった企業・国などが、排出枠より実際の排出量が少ないところから排出枠を買ってくることを可能にして、それにより排出枠を超えて排出した、温室効果ガスを排出枠を超えてないときみやすることができる制度であり、二つの形式がある。

排出量取引制度の最も一般的な形式である「キャップ・アンド・トレード型」は2005年1月からEUが開始した排出量取引制度でも扱われている方法である。対象部門全体の排出量にキャップ(上限)をかけて、その中で排出枠を取引することによって、対象部門における最も費用効果的な排出削減の達成を可能にする制度である。

キャップ・アンド・トレード型の基本的な排出権取引の流れは

1. 排出削減量を決め、排出枠を発行する
2. 排出枠を配分する
3. 実際の排出量と排出枠の差異が生じる
4. 各施設は自力削減または取引をする
5. 排出量と排出枠のマッチング

という流れで、この制度は2つの特徴をもっている。

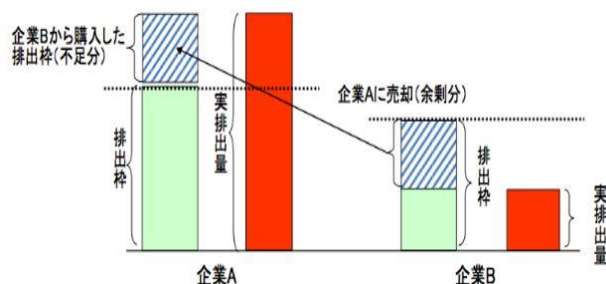


Fig.2 キャップ・アンド・トレード型の基本的な排出権取引のイメージ

1つ目の特徴として、効果（削減量）の確実性がある点。2つ目は、一定量の排出削減を達成するためにかかる費用を最小化することができるという点である。しかし、現在日本で行われているJ-クレジット制度という企業を対象とした、省エネルギー機器の導入や森林経営などの取組による、CO₂などの温室効果ガスの排出削減量や吸収量を「クレジット」として国が認証する制度はあまり機能していない。

この理由としてJ-クレジット制度に参加するかしないかは任意という点、排出枠の設定を、各事業者の過去の排出削減努力や今後導入可能な技術の内容や程度等を踏まえて実現可能と考えられる排出削減の程度を踏まえて設定するという、設定方法の明確の指標がなかったため、枠をうまく設定できなかったという点が挙げられる。そして、省エネ補助金制度を拡充し得る補助金のほうが、J-クレジット制度で得られる金額よりも多額という点から、企業にあまり興味を持ってもらえなかったからである。

もう一つの形式が「ベースラインアンドクレジット型」で、この方式は、温室効果ガスの削減事業を行っている企業を対象として、温室効果ガスの削減事業前の段階の排出量を基準とし、それを削減した分だけクレジットを発行し、これを温室効果ガス削減の対価とするものである。この形式の特徴として、排出枠を超えて温室効果ガスを排出してしまい、排出枠を購入しなければならないような企業が発生しない。しかしこれによって、効果（削減量）の確実性があまり見込められない。

この2つの問題に対して、地方自治体が住民サービスの向上や過疎化の対策を行うための歳入をなるべく環境に悪影響を与えないで確保するような制度を導入する必要があると考えた。

2 研究目的

本研究では、各自治体を排出量が排出枠を超えてしまい、排出枠が足りない自治体と排出量が排出枠を超えていなく、排出枠が余っている自治体に分ける。その後、排出枠に余裕のある自治体と排出枠の不足する自治体で排出枠の売買を行う。そのため、CO₂排出量、吸収量の定式化からなる排出枠の算定をする。その後、排出枠の売買の値段設定方法を決め、基礎自治体の二酸化炭素排出権取引のモデルを構築する。

そこから排出枠の設定方法、排出枠のCO₂単価や今後のCO₂予測排出量等の不確定要素でシミュレーションを行う。そして、基礎自治体の歳入を確保する制度として、基礎自治体の二酸化炭素排出権取引の導入が現実的に可能かどうか、実際に制度を導入したときに、その実現可能性について検討する事を目的とする。

3 先行研究

既存研究では、日本で行われているカーボンクレジット制度やJ-クレジット制度が日本に必要なかの考察をする研究と、排出権取引のシミュレーションに

よる取引市場の制度設計や分析、評価などが行われてきた。

青木⁹⁾は東京都が導入したキャップ・アンド・トレード型の東京都排出量取引制度の国および他の自治体による追認・模倣を通じた、背策波及の可否の考察を行った。道府県レベルの平均的自治体では削減義務対象となる産業、業務部門の収入が多くCO₂の削減を行う際に税財政上の脅威となるこのような要因で本政策の波及可能性を阻害するとの理解が得られた。

原田¹⁰⁾はマルチエージェント・シミュレーションを用いて現在実施されている、東京都排出量取引制度モデルを構築し、経済効率、価格の安定性、取引効率などの面から分析を行った。そして、様々な個性を持つ参加主体の特性を反映させた市場参加や、市場のルールが市場に与える影響を考察した。その結果取引参加者の価格認識の精度は、高すぎても経済効率性を悪化させ、適切な情報公示を行わなければ十分に高効率な制度運営を実現できないということを見出した。

このように排出権取引の研究は市場分析や制度としての考察が多く、実際の排出量を用いたシミュレーションや、CO₂排出権取引を市区町村の財源を確保する事が目的で行っているような研究は行われていない。

4 研究方法

本研究では排出量取引制度の最も一般的な形式であるキャップ&トレード形式¹⁾を使用する。

CO₂排出量、吸収量の算出に関する式の定式化、将来の排出量、吸収量予測データの定式化、排出枠の設定などからモデルを構築する。

その後、CO₂排出量を総合エネルギー統計、工業統計、経済センサス、自動車燃料消費量統計年報等を用いて算出、吸収量を林野庁の市町村別私有林人工林面積を用いて算出、財政復帰のための歳入をRESASの地方税サマリーデータを用いて算出、将来の排出量、吸収量の予測データを不確定要素を用いて算出する。

その不確定要素を用いたモデルでシミュレーションを行い、自治体間のCO₂排出権取引制度の導入について検討を行う。

5 自治体間 CO₂排出権取引制度モデル

排出権売買について Fig.3 に示す。排出枠とはCO₂の許容排出量のこと、排出量が排出枠を超えてしまうと排出枠が足りない自治体となり、排出量が排出枠を超えていないと排出枠が余っている自治体となる。この数理モデルを構築し、本研究の目的を検討した。例えばAの自治体とBの自治体でAが排出枠が足りない自治体となり、Bが排出枠が余っている自治体となる。この2つの自治体が排出枠のお金で取引するこの数理モデルを構築する。

5.1 自治体間 CO₂排出権取引制度の流れ

部門における最も費用効果的な排出削減の達成を可能にする制度

¹⁾ 対象部門全体の排出量にキャップ（上限）をかけて、その中で排出枠を取引することによって、対象

実際に過疎化している自治体では財政状況が厳しいが、人口が少ない分住民が排出する CO₂の排出量はあまり多くないため、キャップ・アンド・トレード型の排出権取引をベースにし、国が排出枠に余裕のある自治体から排出枠を買い取り、排出枠の不足する自治体へ売却、分配を行う想定をした、本研究では総自治体数で総排出枠を割り、平等に分配し、排出枠が足りない自治体が排出枠を買うことを、制度として定める。しかし、地方公共団体の財政力を示す指標として用いられる財政力指数が 1 未満の自治体は、地方交付税交付金の支給される赤字自治体のため、国から補助金を支出し CO₂ 排出量取引制度に参加できるようにする。この制度を用いた結果、売る排出量と買う排出量が均衡することを目指す。

また補助金については制度開始年の支出額を基準とし、翌年度の補助金額は前年度の任意の割合の額とする。

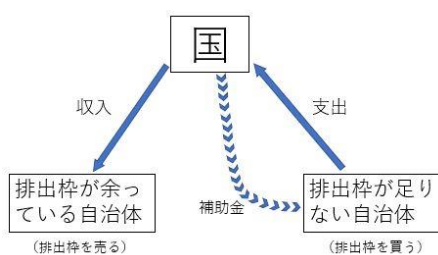


Fig.3 排出権売買の流れ

5.2 自治体の排出枠の設定

式(1)に排出枠の計算方法を示す。排出枠は2016年時のものを基本的に使用し、排出枠の総量を2016年に排出した全基礎自治体の CO₂排出量に設定する。この時の CO₂排出量は実際に排出している CO₂排出量から CO₂吸収量を引いた値にする。

排出枠の設定対象は全基礎自治体で、排出枠の設定方法は無償割当と有償割当がある。しかし、有償割当の方法はオークション方式のみで、オークション方式は排出枠を設定する時点で取引が行われてしまうため、本研究における排出枠の設定方法にはふさわしくない。従って本研究では無償割当を用いる。

無償割当の中にも、ベンチマーク方式、グランドファザリング方式という二つの方式があり、ベンチマーク方式では、事業者の過去の排出削減努力に報いた公平な排出枠の設定をすることができるが、多種多様な CO₂に対してベンチマーク方式の対象とすることは難しい。従って、排出枠を総量方式で設定する際、過去の排出実績を基準とするものであるグランドファザリング方式を用いる。

自治体の排出枠

$$= 2016 \text{ 年の自治体の総排出量} \\ \times (1 - \text{削減率}) \div \text{基礎自治体数} \\ \text{削減率は任意で設定する} \quad (1)$$

5.3 排出枠の単価の設定

排出枠の値段は国が固定せずに自治体ごとに決めることにする。式(2)に、単価の計算方法を示す。

単価がそのまま排出枠が余っている自治体の収入の基礎となるので、財政を復活させるために必要な資金をまず加える。ただし、一年で財政を復活させるために必要な金額を得るのは、金額が大きく、現実的でないため、割合を設定する。設定する割合を任意にすることで、シナリオ分析を可能にする。人工林の手入れと人工林の造成については、排出枠が余っている自治体は、売れる排出枠を増やすために人工林を増やすこと、及び維持することが重要になると考え、1年間人工林を維持する金額と1年間で人工林を造成するときに必要な金額を加えた。人工林の造成も任意にすることでシナリオ分析を可能にする。

CO₂の単価(円)

$$= \{ \text{財政復帰に必要な金額の任意の割合(円)} \\ + 1 \text{ 年間の人工林の手入れ費用(円)} \\ + 1 \text{ 年間の人工林を任意の割合で造成するのに} \\ \text{必要な金額(円)} \} \\ \div \text{余っている排出枠量} \quad (2)$$

6 使用するデータ

自治体間 CO₂排出権取引制度の数理モデルを構築するうえで必要となるデータの算出方法とその定式化を行った。

6.1 二酸化炭素排出量

二酸化炭素排出量にはエネルギー転換部門、産業部門、家庭部門、業務その他部門、運輸部門という5個の部門¹¹⁾がある。エネルギー転換部門は、一次エネルギー国内供給部門から国内に供給された各エネルギー源について、元のエネルギー源と異なるエネルギー源を製造・生成するために、燃焼・乾留・分解などの化学変化や熱交換・分離・混合などの物理変化のために用いられたエネルギー源の量などを表現する。

産業部門は、最終エネルギー消費のうち、第一次産業及び第二次産業に属する法人ないし個人の産業活動により、工場・事業所内で消費されたエネルギーを表現する部門である。産業部門においては、工場・事業所の内部のみで人・物の運搬・輸送に利用したエネルギー源の消費を計上し、工場・事業所の外部での人・物の運搬・輸送に利用したエネルギー源は運輸部門に計上する。

家庭部門は、最終エネルギー消費のうち、家計が住宅内で消費したエネルギー消費を表現する部門。家庭部門においては、自家用車や公共交通機関の利用など人・物の移動に利用したエネルギー源の消費は全て運輸部門に計上する。

業務その他部門は、第三次産業(水道・廃棄物・通信・商業・金融・不動産・サービス業・公務など)に属する企業・個人が、事業所の内部で消費したエネルギー消費などを表現する部門である。

運輸部門は、最終エネルギー消費のうち、企業・家計が住宅・工場・事業所の外部で人・物の輸送・運搬に消費したエネルギーを表現する部門で、この5部門はそれぞれで算出方法が異なる。

二酸化炭素排出量の算出方法

二酸化炭素排出量は部門毎に算出方法¹²⁾が異なる。基礎自治体の部門ごとに算出した二酸化炭素排出量

を合計して、基礎自治体の総二酸化炭素排出量とする。

式(3)にエネルギー転換部門の排出量の計算方法を示す。エネルギー転換部門の排出量は、「事業所排出量積上法」という実際の事業所の排出量を用いて排出量を推計する方法を用いるため、温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度の特定事業所排出量データが必要である。しかし、該当するデータの取得が不可能なため、「全国按分法」²を用いて推計する。エネルギー転換部門から排出されるエネルギー起源CO₂排出量は、火力発電所の総出力に比例すると仮定し、Fig.4に示すように、推計する。

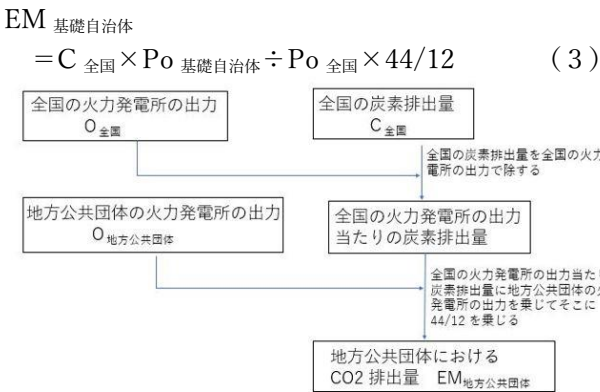


Fig.4 エネルギー転換部門計算の流れ

産業部門は製造業部門と非製造業部門に分かれ、部門によって算出方法が異なる。式(4)に製造業の排出量の計算方法を示す。製造業の排出量の推計はエネルギー使用量の実績値が把握できないものの、業種別の排出量は推計できるため、「全国業種別按分法」³を用いて推計する。産業部門の製造業により排出されるエネルギー起源CO₂排出量は、業種別製造品出荷額に比例すると仮定し、Fig.5に示すように、推計する。

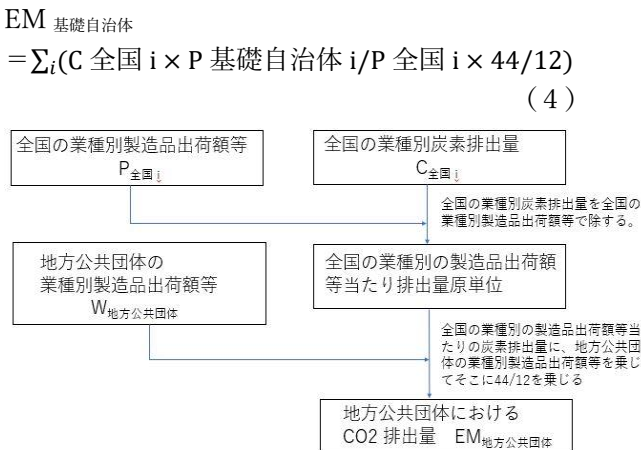


Fig.5 製造業部門の計算の流れ

² 全国の炭素排出量に対して、人口、全国規模の数値で按分する方法

³ 業種別に炭素排出量を按分する手法で、かつ、業

式(5)に非製造業と業務その他部門の排出量の計算方法を示す。非製造業と業務その他部門の排出量の推計はエネルギー使用量の実績値が把握できないため、「都道府県別按分法」⁴を用いて推計する。非製造業と業務その他部門により排出されるエネルギー起源CO₂排出量は、その部門で働いている従業者数に比例すると仮定し、Fig.6に示すように、推計する。

EM_{基礎自治体}

$$= C_{\text{都道府県}} \times W_{\text{基礎自治体}} / W_{\text{都道府県}} \times 44/12 \quad (5)$$

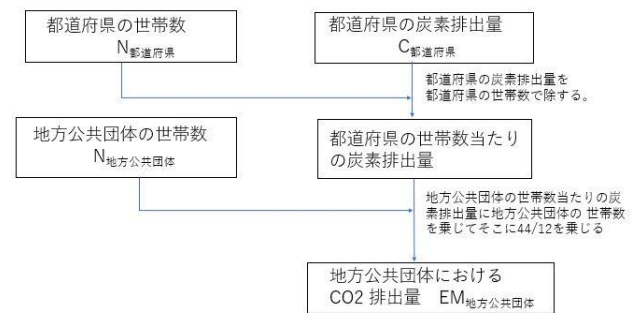


Fig.6 非製造業と業務その他部門の計算の流れ

式(6)に家庭部門の排出量の計算方法を示す。家庭部門の排出量の推計は、エネルギー使用量の実績値が把握出来なく、都市ガス普及率を反映する事もできないため、「都道府県別按分法」を用いて推計する。家庭部門により排出されるエネルギー起源CO₂排出量は世帯数に比例すると仮定し、Fig.7に示すように、推計する。

EM_{基礎自治体}

$$= C_{\text{都道府県}} \times N_{\text{基礎自治体}} / N_{\text{都道府県}} \times 44/12 \quad (6)$$

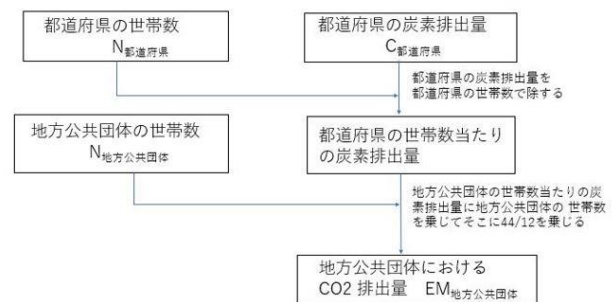


Fig.7 家庭部門の計算の流れ

運輸部門は自動車部門と鉄道部門に分かれ、部門によって算出方法が異なる。式(7)に鉄道部門の排出量の計算方法を示す。鉄道部門の排出量の推計は事業者別の排出量を推計するためのエネルギー使用量が把握し難かったため「全国按分法」を用いて推計する。鉄道部門により排出されるエネルギー起源CO₂

種別原単位の差異を反映した推計が可能

⁴ 「都道府県別エネルギー消費統計」の都道府県の炭素排出量を世帯数で按分する手法

排出量は地方公共団体の人口に比例すると仮定し、「全国按分法」を用いて、Fig.8 に示すように、推計する。

$$EM_{\text{基礎自治体}} = C_{\text{全国}} \times P_{\text{基礎自治体}} / P_{\text{全国}} \times 44/12 \quad (7)$$

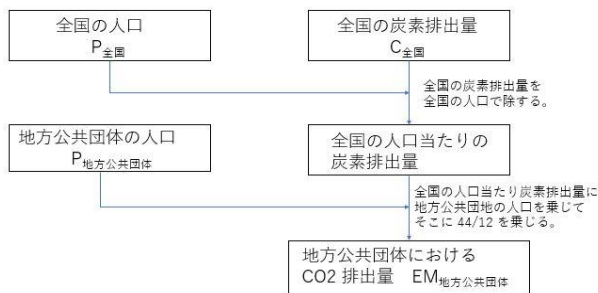


Fig.8 鉄道部門の計算の流れ

Table4 自動車以外の二酸化炭素排出部門の定義

記号	定義
EM _{基礎自治体}	基礎自治体の CO2 排出量
C _{全国,i}	全国の業種別炭素排出量
P _{基礎自治体}	当該基礎自治体の業種別製造品出荷額等
P _{全国,i}	全国の業種
I	業種
C _{都道府県}	基礎自治体を含む都道府県の炭素排出量
W _{基礎自治体}	基礎自治体の従業者数
W _{都道府県}	当該基礎自治体を含む都道府県の従業者数
N _{基礎自治体}	基礎自治体の世帯数
N _{都道府県}	当該基礎自治体を含む都道府県の世帯数

式(8)に自動車部門の排出量の計算方法を示す。自動車部門の排出量の推計は区域における車種別自動車保有台数の構成比が全国の平均から偏っているため、「全国按分法」は実際の排出量との違いが大きくなる。また、居住者や地元企業の保有車両を対象とする対策の評価もできないため、車種別原単位の差異を反映する場合には、エネルギー使用量の実績値が無くても推計可能な手法のうち、「都道府県別車種別按分法⁵⁾」を用いて、Fig.9 に示すように、推計する。

⁵⁾ エネルギー使用量の実績値が無くても車種別原単

$$EM_{\text{基礎自治体}} = \sum_{i,j} (E_{\text{都道府県 } i,j} \times N_{\text{基礎自治体 } i} \times CEF_j) \div N_{\text{都道府県 } j} \quad (8)$$

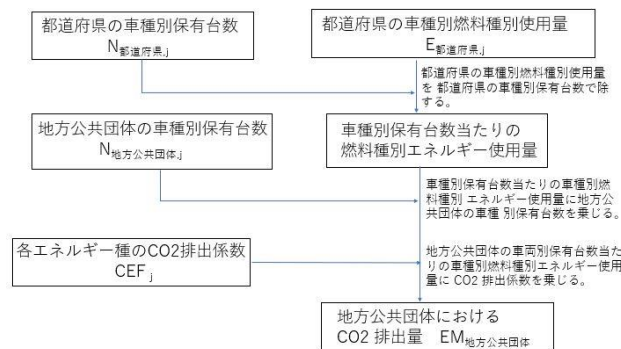


Fig.9 自動車部門の計算の流れ

Table5 自動車部門の二酸化炭素排出部門の定義

記号	定義
EM _{基礎自治体}	当該基礎自治体の CO2 排出量
E _{都道府県 ij}	当該基礎自治体を含む都道府県の車種別燃料種別総燃料使用量
N _{基礎自治体 i}	基礎自治体の車種別燃料種別自動車保有台数
N _{都道府県 i}	当該基礎自治体を含む都道府県の車種別燃料種別自動車保有台数
CEF _j	エネルギー種別 CO2 排出係数
i	車種
j	エネルギー種別

6.2 二酸化炭素吸収量

二酸化炭素の吸収量の対象は京都議定書では森林、農地、草地、湿地、開発地、その他の土地の6つの土地利用分類について、その土地利用変化と、温室効果ガス排出量及び吸収量を算定し、報告することとなっている。

しかし、本研究においては、森林の吸収量だけを使うことにする。なお、森林でも京都議定書のルールでは、森林による吸収量のすべてを無条件で削減目標の達成に活用できるわけではない。京都議定書で森林吸収源の対象となる森林は、過去50年間森林ではなかった土地に植林された新規植林、1989年12月31日より前の時点において森林であったが、同日時点では森林ではなかった土地に植林された再植林、森林経営をされた森林の3つで、これを現在ある人工林であると仮定して、吸収量の算定を行う。

二酸化炭素吸収量の算出方法

式(10)に二酸化炭素吸収量の排出量の計算方法を示す。京都議定書の森林による二酸化炭素吸収量

位の差異を反映できる手法

は下記の式（9）で求められる。

$$\text{吸収量（炭素トン/年）} = \text{幹の体積の増加量（m}^3/\text{年）} \\ \times \text{拡大係数} \times \text{（1+地上部・地下部比）} \times \text{容積密度（トン/m}^3\text{）} \times \text{炭素含有率} \quad (9)$$

しかし、最大係数、容積密度などは樹木の年齢や、直径などのデータが木の種類ごとに必要であり、公開されているデータからは該当するデータを取得することができなかつたため、上記の式（9）で二酸化炭素吸収量を算出することは不可能であった。

林野庁では、適切に手入れされている36～40年生のスギ人工林は1ヘクタール当たり約302トンの二酸化炭素を蓄え、1ヘクタールが1年間に吸収する二酸化炭素の量は、約8.8¹³⁾トンと推定されていた。また、日本の人工林の最も多い割合¹⁴⁾はスギ人工林で44%がヒノキ人工林で25%である。従って、このデータを用いて、基礎自治体に存在している人工林が適切に手入れされている36～40年生のスギ人工林だと仮定し、下記の推計式で算出した。

$$\begin{aligned} & \text{二酸化炭素吸収量} \\ & = \text{各基礎自治体の人工林の面積（ha）} \\ & \times 8.8(\text{t-co}_2/\text{ha}) \quad (10) \end{aligned}$$

6.3 二酸化炭素排出量の予測データ

自治体間CO₂排出権取引制度の数理モデルを構築して、シナリオ分析、シミュレーションを行う上で、将来の二酸化炭素排出量のデータを予測することが必要になる。

二酸化炭素排出量の予測をする際に、二酸化炭素の排出部門ごとの人口増減率と世帯数の増減率に排出量が比例すると仮定した。

運輸（自動車）部門は1世帯に1台車を保有していると仮定し、世帯数の増減率で予測排出量を求める。家庭部門はもともと世帯数で按分して排出量を求めているため、世帯数の増減率で予測排出量を求める。運輸部門（鉄道）は人口で按分して排出量を求めているため、人口の増減率で予測排出量を求める。産業部門（非製造業）と業務その他部門は、従業員数が人口の増減と比例していると仮定して人口の増減率で予測排出量を求める。産業部門（製造業）は、人口の増減と製造量の増減が比例していると仮定し人口の増減率で予測排出量を求める。エネルギー転換部門は、人口の増減と電気使用量が比例すると仮定し、人口の増減率で予測排出量を求める。

そして、2010年の排出部門ごとに求めた二酸化炭素排出量から人口増減と世帯数の増減によって算出した。2016年の予測排出量と2016年の実際の算出方法を用いた二酸化炭素排出量を比べて、実際の算出方法を用いた二酸化炭素排出量のほうが排出量が少なかったため、その割合を求め、複利計算を用いて1年で技術革新によるCO₂減少の割合を求めた。2016年以降も人口増減率と世帯数の増減率で排出量を推計し、そこに技術革新のCO₂排出量を抑える割合を乗じたものを予測データとして推計した。なお技術革新のCO₂排出量を抑える割合は実際に出したものの以外にも任意で決めてシナリオ分析に入れるものとする。

6.4 二酸化炭素吸収量の予測データ

二酸化炭素吸収量の予測データは1年間の人工林の造成面積によって変わってくる上に、自治体によって毎年一定量の人工林の造成ができるかわからないため、人工林の造成の割合を任意に設定して、正規分布を用いて毎年ランダムに造成していくことにする。正規分布の平均は任意に決めることにする。

造成分の人工林の面積を既存の人工林の面積と合算し、1ヘクタールが1年間に吸収する二酸化炭素の量である、8.8トンに乗じて、二酸化炭素吸収量の予測データとして推計した。

6.5 財政復帰に必要な財源

式(11)に財政破綻度の計算方法を示す。財政復帰に必要な金額を求めるための指標として、財政力指数を活用した。

財政力指数というのはもともとの財源の豊かさの指標で、財政力指数が1.0を上回れば、その地方自治体内での税収入等のみを財源として円滑に行政を遂行できる富裕団体と呼び、下回れば地方交付税交付金が支給される交付団体となり、さらに0.4を下回ると、過疎団体の一要件とされる。

このように財政力指数でも十分財政復帰に必要な金額を求めるための指標として機能すると考え、財政力指数から財政復帰に必要な金額を求めることにする。

財政破綻度＝

$$\begin{aligned} & \text{経常収支比率の偏差値} + \text{実質公債費比率の偏差値} \\ & + \text{将来負担比率の偏差値} + \text{財政力指数の偏差値} \quad (11) \end{aligned}$$

財政復帰に必要な金額の算出方法

式(11)に財政復帰に必要な金額の計算方法を示す。財政復帰に必要な金額を求める際に、まず目標の財政力指数に達するにはどのくらいの基準財政収入額があればいいのかを推計する。

基準財政収入額とは各自治体が標準的な状態で徴収できる税収のことで、各地方団体の財政力を合理的に測定するために、当該地方団体について地方交付税法第14条の規定により算定した額である。現在の財政力指数から目標の基準財政収入額と現在の基準財政収入額二つを算出する。式(12)に目標の基準財政収入額、式(13)に現在の基準財政収入額の計算方法を示す。

次に、目標の基準財政収入額の算出のために基準財政需要額を算出する。基準財政需要額とは各地方団体ごとの標準的な水準における行政を行うために必要となる一般財源を推計するもので式(14)に現在の基準財政需要額の計算方法を示す。

目標の財政力指数は下回ると、過疎団体の一要件とされてしまう0.4を上回ることによって推計した。

財政復帰に必要な金額＝

$$\text{目標の基準財政収入額} - \text{現在の基準財政収入} \quad (11)$$

目標の基準財政収入額＝

$$\text{現在の基準財政需要額} \times \text{目標の財政力指数} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{現在の基準財政収入額} = & \\ & \text{標準的な地方税収入} \times 75/100 + \text{地方譲与税等} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{現在の基準財政需要額} = & \\ & \text{現在の基準財政収入額} \div \text{現在の財政力指数} \end{aligned} \quad (14)$$

6.6 1年間の人工林の手入れ費用の算出方法

人工林の手入れとは基本的に間伐で、特に保育間伐のことを指す。間伐を行う際の費用は下刈りが不要、人工林の間伐の費用は足場が良いなどの条件が最も良い人工林で1 (ha) 当たり約8~10万円、下刈りが必要、急斜面で足場が悪いなどの条件が最も悪い人工林で1 (ha) 当たり約25万円と森林管理サービス¹⁵⁾が結論づけている。

しかし、基礎自治体ごとの人工林の状況を把握することはできないので、この二つの平均を取り、1 (ha) 当たり17.5万円とした。ただし、間伐は5年おきに行うものとし、1年間の人工林の手入れ費用は1 (ha) 当たり3.5万円として、人工林の面積を乗じて1年間の人工林の手入れ費用を算出する。

6.7 1年間で人工林を任意の割合で造成するのに必要な金額の算出

スギ人工林の造成に要する費用は1~5年生のスギ1 (ha) 当たり126万円、6~10年生のスギ1 (ha) 当たり30万円、11~50年生のスギ1 (ha) 当たり75万円となる。従って、植栽から50年生までの造林・保育に要する経費は、スギ人工林では、1 (ha) 当たり平均で約231万円¹⁶⁾になり、1年で1haの造成に必要な経費は231を50で除し46200円となる。そこに任意の割合で人工林を造成する面積を乗じて、1年間で人工林を任意の割合で造成するのに必要な金額を算出する。

7 シナリオ分析

式(15)に、支出合計額の計算方法を示し、式(16)に支出合計額を算出するための買う側の自治体を買う排出枠量の計算方法を示す。売買される排出量の均衡が訪れるまでに合計支出額は年々増加する。支出合計額と補助金額差額は自治体負担となる。従って自治体負担が多くなり、売買される排出量の均衡が訪れる前に買う側の自治体も財政的に疲弊してしまう。

自治体負担を減らすために、買う側の自治体が自治体努力で減らせるCO₂排出量や、任意で設定する値を変更してシナリオ分析を行い、買う側の自治体の負担軽減と売買される排出量の均衡を早めることのできるシナリオを作成する。

シナリオを作成するうえで、開発・設計における品質工学であるタグチメソッドを用いることを検討したが、本研究では自治体間CO₂排出権取引制度を用いた場合に実現が可能なシナリオ分析をするのであり、自治体間CO₂排出権取引制度の品質を上げることが目的としたシナリオ分析ではないためタグチメソッドは用いらずにシナリオ分析を行う。

$$\begin{aligned} \text{支出合計額} = & \\ & \text{買う側の自治体を買う排出枠量} (t\text{-CO}_2) \\ & \times t\text{-CO}_2 \text{ 当たりの単価} (\text{円}) \\ & \times \text{買う側の自治体で財政力指数が1を超えて} \\ & \text{いる自治体の割合} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{買う側の自治体を買う排出枠量} = & \\ & \text{各自治体のCO}_2 \text{ 排出量} (t\text{-CO}_2) \\ & - \text{日本のCO}_2 \text{ 総排出量} / \text{自治体数} (t\text{-CO}_2) \end{aligned} \quad (16)$$

Table6 シナリオの種類と変数

シナリオ	シナリオ 1	シナリオ 2
復帰に必要な財源	6.5%	6.5%
排出枠の削減率	26%	26%
人工林の造成	1.7%	1.7%
自治体努力	4.7%	23%
技術革新によりCO ₂ が減る割合	0.0006106%	0.1%
補助金額	-6.5%	-6.5%
シナリオ	シナリオ 3	シナリオ 4
復帰に必要な財源	6.5%	6.5%
排出枠の削減率	26%	26%
人工林の造成	10%	3.8%
自治体努力	4.7%	19%
技術革新によりCO ₂ が減る割合	0.1%	0.1%
補助金額	-6.5%	-6.5%

今回のシナリオは2020年以降の気候変動問題に関する国際的な枠組みである。パリ協定で、日本が中期目標としている2030年度の温室効果ガスの排出を2013年度の水準から26%削減することの達成のためのシナリオとする。シナリオ1は基準となるシナリオで、数値は下記のように決めた。

財政復帰に必要な金額は今回の自治体間CO₂排出権取引制度を2016年から2030年までの15年計画として、15年で財政が復帰できるように6.5%に設定した。排出枠の削減率についてもパリ協定¹⁷⁾で日本が削減目標としているCO₂背景排出量2013年比26%削減をそのまま設定した。人工林の造成割合は実際の人工林の面積推移の5年間の人工林増加割合¹⁸⁾から1年の人工林増加の割合を推計し設定した。自治体努力で削減できるCO₂排出量の割合は現在の都道府県のCO₂削減取り組み¹⁹⁾のCO₂削減目標を一年ごとに推計し、都道府県な中で一番削減目標の高い8.3%と一番削減目標の低い1%の平均を推計し設定した。技術革新によりCO₂が減る割合は二酸化炭素排出量の予測データを推計するとき用いた割合をそのまま用いた。補助金額も、今回の自治体間CO₂排出権取引制度を2016年から2030年までの

15年計画として、15年で財政が復帰できるように6.5%に設定した。その結果、Fig.10, Fig.11に示すように、売買される排出量の均衡は2050年を過ぎても訪れることがないという結果になり、パリ協定で設定された期間内に、間に合わない結果になってしまった。

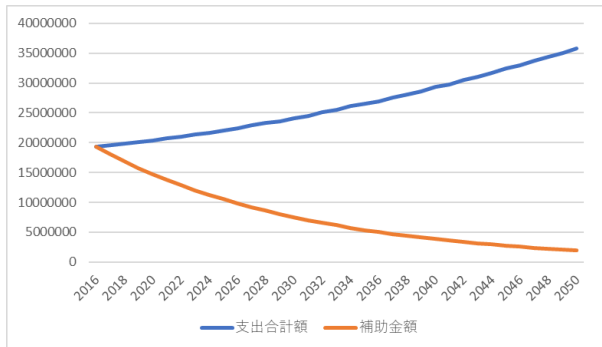


Fig.10 シナリオ1 支出合計額と補助金額

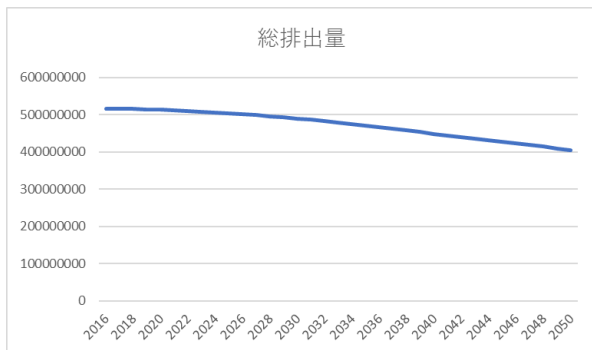


Fig.11 シナリオ1 排出量

次にシナリオ2はシナリオ1から自治体努力で削減できるCO₂排出量の割合と技術革新によるCO₂排出量削減割合だけを変えたシナリオで、技術革新によるCO₂排出量削減割合を変えることで均衡が訪れるのを早くすると考えたが、元に設定した値も、新しく設定した値も割合が小さかったのであまり効果がなかった。そして、自治体努力で削減できるCO₂排出量の割合は2030年にこの制度が終わるように設定した結果、Fig.12, Fig.13に示すように、2030年に均衡には達するものの、自治体努力で削減できるCO₂排出量の割合が23%と8.3%を大幅に超える、現実的でない結果になってしまった。

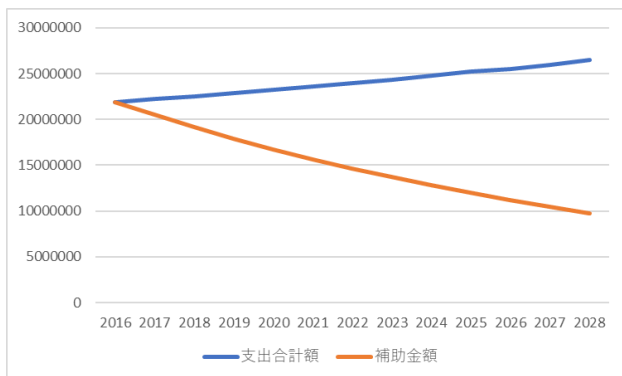


Fig.12 シナリオ2 支出合計額と補助金額

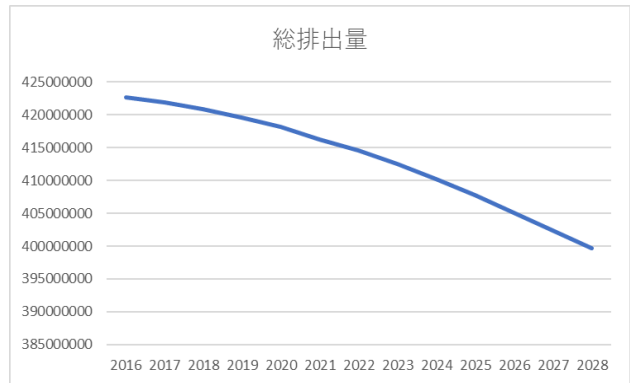


Fig.13 シナリオ2 排出量

次にシナリオ3はシナリオ1から人工林の造成と技術革新によるCO₂排出量削減割合だけを変えたシナリオで、人工林の造成だけを2030年にこの制度が終わるように設定した結果、Fig.14, Fig.15に示すように、2030年に均衡には達するものの、自治体努力で削減できるCO₂排出量の割合が10%になった。人工林の造成率の最大値の推計は実際に北海道で植林取り組み²⁰⁾として行われている、住民一人につき30本木の植林を行う取り組みの植林する本数を都道府県の面積で按分して人工林の造成率の最大値を3.8%推計したので、10%と現実的でない数字となってしまった。

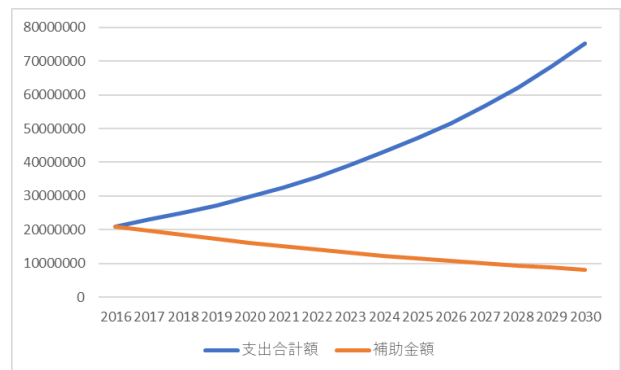


Fig.14 シナリオ3 支出合計額と補助金額

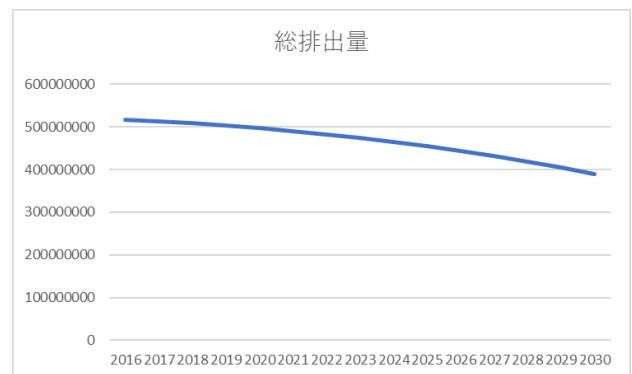


Fig.15 シナリオ3 排出量

この3つの結果から、人工林の造成率が高いと総支出金額の増加具合が高くなり、自治体努力自治体努力で減らせるCO₂排出量の割合が高いと全体的な支出金額が下がり増加具合ということが読取れる。

また、総排出量がグラフからは森林の造成と自治

体努力で減らせる CO₂排出量では森林造成のほうがより排出量の減少効果強いことが読取れる。

そしてシナリオ 4 では、人工林の造成率を実際にあり得る割合の中で最も大きくしたときに、2030 年にこの制度を完了させるには自治体努力で削減できる CO₂排出量の割合がどうなるか、シミュレーションした結果である。

Fig.16, Fig.17 に示すように、シナリオ 4 でも自治体努力で削減できる CO₂排出量の割合は 19%と、シナリオ 2 と比較したときにまだ現実的ではあるが、それでも実現とは程遠い自治体努力での削減割合になってしまい、現在の取り組みによる自治体努力での CO₂削減割合の最大値より 10.7%も CO₂を削減しないと達成できないという結果になった。

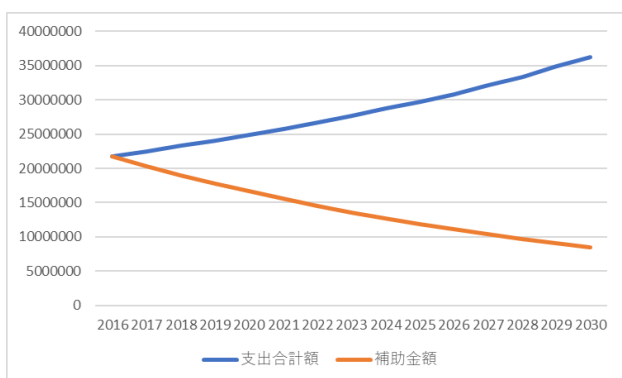


Fig.16 シナリオ 4 支出合計額と補助金額

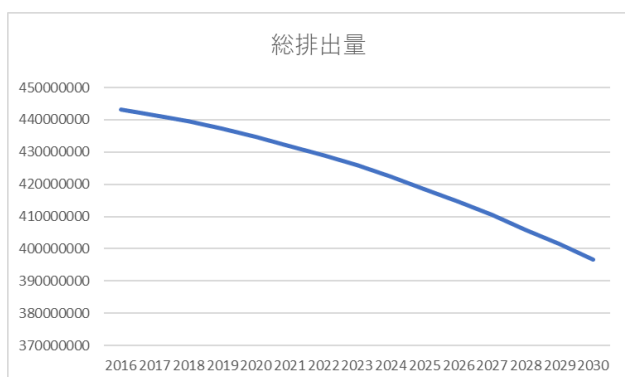


Fig.17 シナリオ 4 排出量

この 4 つのシナリオでは現実的な削減割合にならないので、シナリオ 5 として、現実的な人工林の造成率と自治体努力で削減できる CO₂排出量の割合の最大値でパリ協定の目標が達成しつつ、売買される排出量の均衡がなるべく早く訪れるのは何年後になるのかをシミュレーションした。そして均衡が訪れる年までをこの制度の計画期間として、復帰に必要な財源の割合と補助金額の設定を行った。

シミュレーションの結果 Fig.18, Fig.19 に示すように 2038 年には近郊に達しており、なおかつ CO₂排出量も減少している。さらに、Fig.20, Fig.21 に示すように 2016 年と 2038 年を比べてみると排出枠をかう自治体の数も減少していることがわかる。

このことからシナリオ 5 の結果のような目標設定

で自治体間 CO₂排出権取引制度を行うことにより、パリ協定の目標を達することができるほどに CO₂の排出量も削減可能でなおかつ、過疎化自治体の収入にもなることがわかる。

Table7 シナリオの種類と変数

シナリオ	シナリオ 5
復帰に必要な財源	4.3%
排出枠の削減率	26%
人工林の造成	3.8%
自治体努力	8.3%
技術革新により CO ₂ が減る割合	0.1%
補助金額	-4.3%

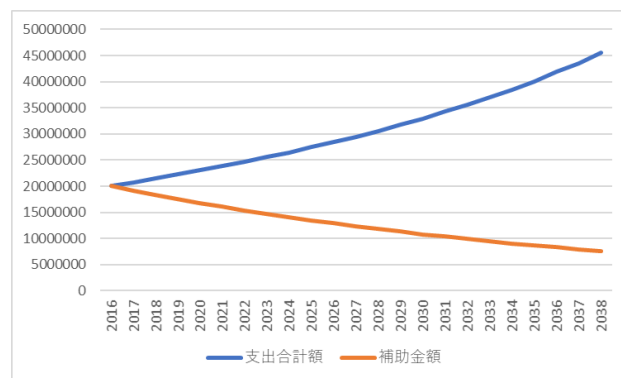


Fig.18 シナリオ 5 支出合計額と補助金額

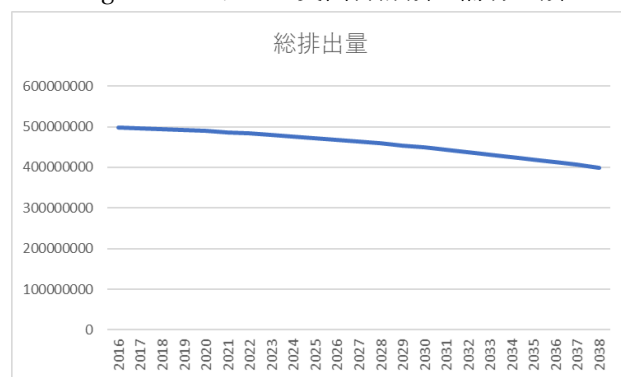


Fig.19 シナリオ 5 排出量

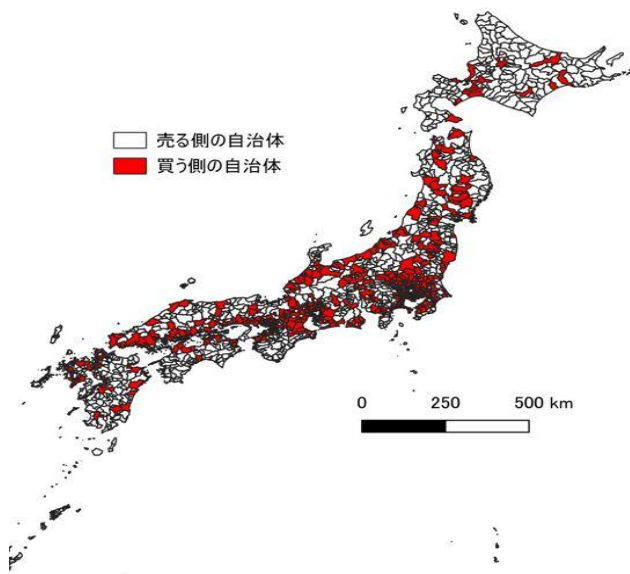


Fig.20 2016年の排出枠を買う自治体の分布

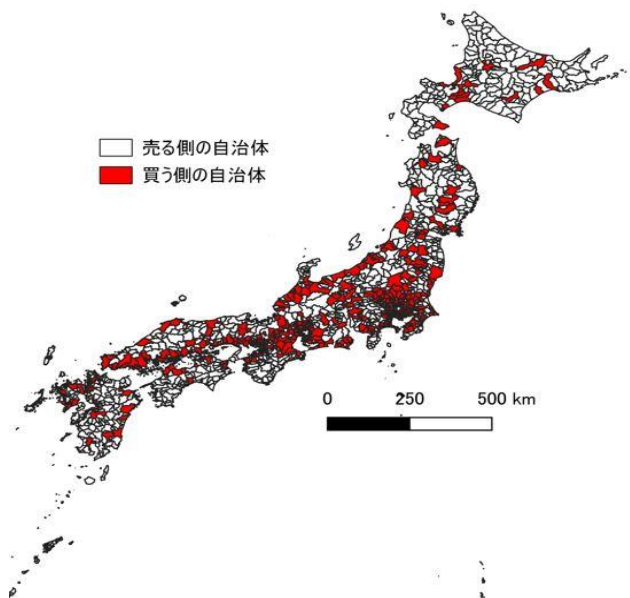


Fig.21 2038年の排出枠を買う自治体の分布

シナリオ分析のまとめ

本研究では5つのシナリオで分析を行ったが、任意で設定する数値を現在の日本に合わせたシナリオ1では、2050年以降も均衡訪れないことがわかった。

パリ協定の目標を期限内に達成できるように数値を設定したシナリオ2, 3, 4では期限内に達成できるが、設定する数値が現実的でない数値になってしまった。人工林の造成率が高い

と総支出金額の増加具合が高くなり、自治体努力自治体努力で減らせるCO₂排出量の割合が高いと全体的な支出金額が下がり増加具合ということが読み取れた。

また、数値を現実的な最大値に設定したシナリオ5では、2038年付近にはパリ協定のCO₂削減目標

を達成し、均衡に達することが分かった。従って、現実的な政策を提案するならば、パリ協定のCO₂削減目標を2040年までに達成するとし、現在の人工林造成率を維持して、自治体努力を最大化することが必要である。

8 終わりに

本研究での作成した数理モデルは公開されている過去のデータを用いて、将来のデータを予測し、任意に指定する値でシミュレーションを行い、制度の指標から自治体間のCO₂排出権取引制度の導入の検討を行った。しかし、今回のモデルでは排出枠を買う自治体は買わなくてはならない排出枠をすべて買う事になっている。よって、各自治体が自分たちで売買の意思決定を行っていない。

従って、実際に制度を実施する際の不確実性と自治体の売買の意思決定などが組み込まれていない。

今後の課題として、より検討の精度を向上させるために、実際に制度を行う際の不確実性をランダムに実装する事と、各自治体が自分たちで売買の意思決定をできるアルゴリズムなどを考慮したシミュレーションを行う必要がある。

本研究はSDGs7番,11番に該当し、新たなエネルギーの市場の創出、CO₂排出量の減少による持続可能なエネルギーの確保と過疎化地域などの地域活性化による人の居住地の持続可能化に貢献する。



謝辞

本研究を進めるにあたり、多くのご指導、ご助言をいただいた芝浦工業大学システム理工学部環境システム学科の市川学准教授に感謝いたします。また、副査を担当していただいた同学科の磐田朋子准教授に感謝いたします。そして、多くのご助言、ご協力をいただいた市川研究室の皆様、並びに、松井さん、嶋君そして、今まで育ててくれた両親に感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省
<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h26/hakusho/h27/html/n1121000.html>
- 2) 総務省
http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/hakusyo/index.html
- 3) みずほレポート <https://www.mizuho-ri.co.jp/publication/research/pdf/report/report06-0330.pdf>
- 4) 人口減少による税収減 どうなる？行政サービス
<https://www.nhk.or.jp/ohayou/digest/2019/07/0713.html>
- 5) 和歌山県過疎地域自立促進方針
<http://www.e-konzal.co.jp/e-co2/estimation-method/>
- 6) 秋田県過疎地域自立促進方針

- [https://www.pref.waka-yama.lg.jp/prefg/022200/housin-keikaku_d/fil/kaso-housin28-32.pdf](https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/022200/housin-keikaku_d/fil/kaso-housin28-32.pdf)
- 7) 今後の過疎対策の在り方について
http://www.mayors.or.jp/p_opinion/documents/old/chousa/documents/201125kaso-chousa-kekka.pdf
 - 8) 自治体通信 ONLINE
https://www.jt-tsushin.jp/interview/jt2_ias/
 - 9) 東京都「CO₂総量削減義務・排出量取引制度」に見る政策波及の可能性
https://www.jstage.jst.go.jp/article/sesj/23/4/23_4_321/_article/-char/ja/
 - 10) マルチエージェント・シミュレーションを用いた東京都排出量取引制度の研究
https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=3830&item_no=1&attribute_id=14&file_no=1
 - 11) E-CO2
<http://www.e-konzal.co.jp/e-co2/estimation-method/>
 - 12) 地方公共団体実行計画（区域施策編）策定・実施マニュアル算定手法
https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/manual_sakutei.pdf
 - 13) 林野庁森林の二酸化炭素吸収
https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/20141113_topics2_2.html
 - 14) 林野庁スギ・日のキリンに関するデータ
https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/kafun/data.html
 - 15) 森林管理サービス
<http://www.yoshino.jpn.org/yoshino/index.php?%E5%B1%B1%E3%81%AEQ%2FA>
 - 16) 再造林・育林の低コスト化に関する指針
<https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030301/files/2015051100249/teikosutoshishin.pdf>
 - 17) 経済産業省
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/pariskyotei.html>
 - 18) 森林林業学習館
https://www.shinrin-ringyou.com/forest_japan/menseki_tikuseki.php
 - 19) 自治体グリーン政策の窓
<http://www.climate-ig.jp/policy/index.html>
 - 20) 道民事業者のための手引き
http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/ksk/grp/09/sengen_tebiki3.pdf