

インドネシア・マカッサル市における炭素クレジットの環境・経済影響評価

豊橋技術科学大学大学院 建築・都市システム学専攻

福田 堯秀, 宮田 譲, 洪澤博幸

1. 目的

近年、地球温暖化が地球規模の問題として認識されている。地球温暖化により、極地における氷の融解による海面上昇、異常気象による穀物生産量の低下、野生生物の絶滅の危機など、人類と生物の基盤を脅かす恐れが生じると指摘されている。また、世界の平均気温に対して気温上昇を 2℃程度に抑える必要があるとされている。その原因となっている CO₂排出量の削減は世界共通の課題であり、省エネ技術や電気自動車、再生可能エネルギーなど、対策が進められている。その一つとして炭素クレジットが挙げられる。炭素クレジットは排出枠を買うことで、その枠分の CO₂排出量を補填できる手法である。本研究はその炭素クレジットに注目している。これまで都市レベルにおける炭素クレジット導入による環境・経済影響分析はほとんどないと言えよう。本研究の対象地域は東インドネシアの主要都市であるマカッサル市としている。その理由としてインドネシアでは焼畑や泥炭地の分解による CO₂排出量を考慮すると、世界第3位の CO₂排出国となるからである。また、インドネシアでの分析は他の発展途上国におけるモデルケースともなりうることも挙げられる。本研究ではマカッサル市について応用一般均衡 (CGE) モデルを構築し、マカッサル市で炭素クレジットを発行した場合の環境及び経済的影響を分析することを目的としている。

2. 炭素クレジット

炭素クレジットとは温室効果ガスの排出権利に財産権をつけて売買することにより、温室効果ガスを削減しなければ損失が発生し、削減努力を利益に反映させる考え方に基づいている。自地域の排出削減だけでの削減しきれない CO₂等の温室効果ガスについては、排出枠を余らせている地域からその分を買い取ることができる。この排出量はクレジットとして取引可能となっている。

排出量取引の基本的な制度設計には、「キャップ&トレード方式」と「ベースライン&クレジット方式」の2方式がある。(図1)「キャップ&トレード方式」では、まず、排出者に対し、排出枠を排出上限値として割り当てる(キャップ)。排出枠に余裕のある排出者は、その余剰分をクレジットとして売却できるが、逆に不足する場合には、クレジットを購入して排出枠を確保し、目標を達成しなければならない(トレード)。京都議定書の排出量取引やEU域内排出量取引制度(The European Union Greenhouse Gas Emission Trading Scheme: EUETS)などがその代表例である。「ベースライン&クレジット方式」

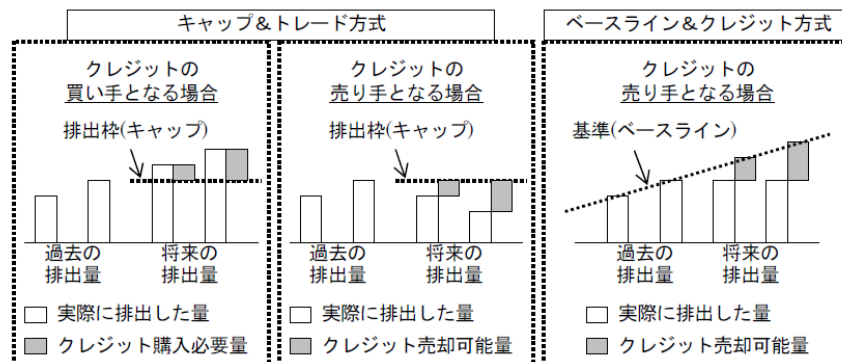


図1 排出量取引制度設計

は、排出削減プロジェクトの実施を前提とした制度である。ある排出削減プロジェクトを実施しないとした場合の将来の排出量を過去の排出量などから推定し、これを排出基準値（ベースライン）として定める。他方、同プロジェクトを実施した場合の排出量を算出し、これが排出基準値を下回った部分につき、クレジットとしてプロジェクトの実施者に与える。これが「ベースライン&クレジット方式」である。同方式の代表例は、京都議定書のクリーン開発メカニズム（Clean Development Mechanism：CDM）や共同実施（Joint Implementation：JI）である。

排出枠は発生起源によって、二酸化炭素に換算した人為的温室効果ガスの削減量 AAU（初期割当分）、植林、再植林に基づく吸収源活動による RMU（国内吸収源活動による吸収量分発行されるクレジット）、途上国への技術援助によって削減可能となった温室効果ガスによる CER（クリーン開発メカニズムで発生するクレジット）、発生源による人為的排出を削減することあるいは吸収源による人為的除去を増進することを目的としたプロジェクトによる ERU（共同実施で発生するクレジット）の 4 つに分類される。CO₂排出量を減らした分を排出枠として買うことで、その国内での排出量を相殺できる。

表 1 世界の炭素市場の状況（取引量と取引額）

	2008年(\$1=103円*)		2009年(\$1=94円*)		2010年(\$1=88円*)		2011年(\$1=82円**)	
全体※	48億 トン	13兆9050億円 (1350億ドル)	87億 トン	13兆5078億円 (1437億ドル)	88億 トン	14兆0008億円 (1591億ドル)	103億 トン	14兆4320億円 (1760億ドル)
EU-ETS (EUA)	31億 トン	10兆3515億円 (1005億ドル)	63億 トン	11兆1390億円 (1185億ドル)	68億 トン	11兆7568億円 (1336億ドル)	79億 トン	12兆1196億円 (1478億ドル)
Primary CDM(pCER)	4億 トン	6695億円 (65億ドル)	2.1億 トン	2538億円 (27億ドル)	2.2億 トン	2376億円 (27億ドル)	2.6億 トン	2460億円 (30億ドル)
Secondary CDM(sCER)	11億 トン	2兆7089億円 (263億ドル)	11億 トン	1兆6450億円 (175億ドル)	13億 トン	1兆8040億円 (205億ドル)	17億 トン	1兆8286億円 (223億ドル)
自主的市場	0.6億 トン	381億円 (4.2億ドル)	0.5億 トン	329億円 (3.4億ドル)	0.7億 トン	361億円 (4.1億ドル)	0.9億 トン	467億円 (5.7億ドル)

3. 対象地域の概要

マカッサル市はインドネシアの都市で、スラウェシ島の南部に位置し、南スラウェシ州の州都である。面積は 175.77 平方キロメートル、人口は約 120 万人、スラウェシ島の主要な港で、定期的な国内及び国際的な輸送路を有している。定期的な長距離配送のための港として重要な役割を持っている。

4. 本研究のモデルの構造

本研究では応用一般均衡モデルを用いて、炭素クレジット導入によるマカッサル市経済及び環境への波及効果を分析する。2006 年のマカッサル市経済を対象とし、経済主体はマカッサル市の家計、28 産業、政府、市外部門とする。市場は 28 生産物市場、労働市場、資本市場の 30 市場とし、これらの市場は競争的で、2006 年時点で均衡状態にあるとする。

(1) 企業

企業は産業ごとに集計化されたものを対象とする（以下、産業とよぶ）。産業は中間財、労働、資本を投入し、財を生産する。産業の技術は中間投入に関して *Leontief* 型技術、資本と労働については *Cobb-Douglas* 型技術とし、規模に関する収穫一定を仮定する。産業の行動は技術の一次同次性から、与えられた産出量に対し、費用最小化行動として定式化される。

$$\min \sum_{i=1}^{28} p_i x_{ij} + (1 + tp_j) (wL_j + rK_j) \quad (1)$$

with respect to x_{ij}, L_j, K_j

subject to

$$X_j = \min \left[\frac{1}{a_{10j}} f_j(L_j, K_j), \frac{x_{1j}}{a_{1j}}, \dots, \frac{x_{ij}}{a_{ij}}, \dots, \frac{x_{28j}}{a_{28j}} \right] \quad (2)$$

ここで、 p_i ：産業 i の生産物価格、 x_{ij} ：産業 j の中間投入量、 tp_j ：産業 j の純間接税率、 w ：賃金率、 r ：資本収益率、 L_j ：産業 j の労働投入量、 K_j ：産業 j の資本投入量、 a_{0j} ：産業 j の付加価値率、 a_{ij} ：産業 j の中間投入係数、 A_{1j}, a_{1j} ：産業 j の技術パラメータ

上式 (1)、(2) の最適化問題から、生産量 X_j に伴う産業 j の中間投入、労働、資本に対する条件付き需要関数を得る。

$$x_{ij} = a_{ij} X_j \quad (3)$$

$$LD_j = \left[\frac{(1 - \alpha_j)r}{\alpha_j w} \right]^{\alpha_j} \frac{a_{0j} X_j}{A_j} \quad (4)$$

$$KD_j = \left[\frac{\alpha_j w}{(1 - \alpha_j)r} \right]^{(1 - \alpha_j)} \frac{a_{0j} X_j}{A_j} \quad (5)$$

ここで、 LD_j ：産業 j の条件付き労働需要、 KD_j ：産業 j の条件付き資本需要

さらに完全競争下における均衡状態の仮定から、以下のゼロ利潤条件を得る。

$$\text{利益} = p_j X_j - \sum_{i=1}^{28} p_i x_{ij} - (1 + tp_j) [w \cdot LD_j + r \cdot KD_j] = 0 \quad (6)$$

(2) 家計

家計はマカッサル市における集計化された家計を考える。家計は現在消費と余暇との消費合成財である現在財と、貯蓄による将来財に関して CES 型効用関数を持つとし、予算制約のもとで効用を最大化するような現在財と将来財を選択する。

効用最大化問題は以下のように記述される。

$$\max_{G, H} u(G, H) \equiv \{ \alpha^{1/v_1} G^{(v_1 - 1)/v_1} + (1 - \alpha)^{1/v_1} H^{(v_1 - 1)/v_1} \}^{v_1 / (v_1 - 1)} \quad (7)$$

subject to

$$p_G \cdot G + p_H \cdot H = (1 - ty)FI - TrH \quad (8)$$

$$FI \equiv (1 - l_o) w E + L H (1 - k) (1 - k) r K S - K H - TrG \quad (9)$$

ここで、 α ：分配パラメータ、 v_1 ：現在財と将来財との代替弾力性、 G ：現在財消費量、 H ：将来財消費量、 p_G ：現在財価格、 p_H ：将来財価格、 FI ：完全所得、 $TrHO$ ：家計から市外への経常移転、 l_o ：市外への雇用者所得率、 E ：家計の労働時間初期賦存量 (=家計の初期働供給量の 2 倍と設定。これはマカッサル市における労働時間と余暇時間との実績値に基づく。)、 LH ：市外からの雇用者所得、 KS ：家計の資本ストック初期賦存量、 KI ：市外からの財産所得、 $TrGH$ ：政府から家計への経常移転、 $TrOH$ ：市外から家計への経常移転

この効用最大化問題を解くことにより，現在財需要関数，将来財需要関数，貯蓄を得る。

$$G = \frac{\alpha[(1-ty)FI - TrHO]}{p_G^{v_1} \cdot \Delta} \quad (10)$$

$$H = \frac{(1-\alpha)[(1-ty)FI - TrHO]}{p_H^{v_1} \cdot \Delta} \quad (11)$$

$$S = p_H H / p_s \quad (12)$$

$$\Delta \equiv \alpha p_G^{1-v_1} + (1-\alpha) p_H^{1-v_1} \quad (13)$$

(3) 政府

政府はマカッサル市からの直接税及び純間接税の税収と，市外からの経常移転を歳入とし，政府消費，家計への経常移転，市外への経常移転を歳出とし，歳入と歳出の差額は貯蓄されるものとする。政府名目消費総額，政府から家計への経常移転，政府から市外への経常移転は歳入総額に比例し，政府消費支出額財別構成比は固定的とする。これらは以下の予算制約条件として表現される。

$$\sum_{i=1}^{28} p_i \cdot CG_i + TrGH + TrGO + SG = ty \cdot Y + \sum_{i=1}^{28} tp_i (w \cdot LD_i + r \cdot KD_i) + TrO \quad (14)$$

ここで， CG_i ：政府消費による i 財の需要， $TrGO$ ：政府から市外への経常移転， SG ：政府貯蓄， $TrOG$ ：市外から政府への経常移転

(4) 市外部門

市外部門はマカッサル市の移輸入，政府から市外への経常移転，市外への雇用者所得，市外への財産所得を所得とする。またマカッサル市の移輸出，家計への経常移転，政府への経常移転，マカッサル市への雇用者所得，マカッサル市への財産所得を支出する。そして，所得と支出との差額は貯蓄されるものとする。これらは以下の予算制約条件として記述される。

$$\sum_{i=1}^{28} p_i \cdot EX_i + TrOH + TrOG + KI + LI + SO = \sum_{i=1}^{28} p_i \cdot EM_i + TrH \oplus TrG \oplus KIO \oplus LIO \quad (15)$$

ここで， EX_i ：マカッサル市の i 財の移輸出量， EM_i ：マカッサル市の i 財の移輸入量， SO ：市外貯蓄(= -マカッサル市民経常余剰)， LIO ：市外への雇用者所得の移転(= $l_o \cdot w \cdot LS$)， KIO ：市外への財産所得の移転(= $k_o \cdot r \cdot kS$)

(5) 財価格

産業のゼロ利潤条件から以下の費用構成が導かれる。

$$p_j X_j = \sum_{i=1}^{28} p_i x_{ij} + (1+tp_j)[w \cdot LD_j + r \cdot KD_j] \quad (16)$$

これより賃金率，資本収益率が与えられる時，財価格は以下のように求まる。

$$P = [I - A']^{-1} [(1+tp_j)(w \cdot ld_j + r \cdot kd_j)] \quad (17)$$

ここで， P ：財価格ベクトル， A' ：投入係数転置行列，
 $[\cdot]$ ：カッコ内を要素とした列ベクトル $ld_j \equiv LD_j / X_j$ ， $kd_j \equiv KD_j / X_j$

5. シミュレーションケースの設定

シミュレーションではマカッサル市周辺の森林による CO₂吸収量を考慮し、炭素クレジットを市外に売却することを想定する。排出枠はマカッサル市の CO₂総排出量 2,568,928 トンの 10%に設定した。排出枠価格は変動し、排出枠の需要と供給の均衡点において価格が与えられる。排出枠の均衡価格は CO₂排出量 1 トン当たり 12,817.5 ルピアと想定した。シミュレーションケースは以下のように設定した。

(1) 基準ケース

炭素クレジットを導入しない。

(2) ケース 1

炭素クレジットの売却収入を市外から政府への経常移転とする。

(3) ケース 2

炭素クレジットの売却収入を市外から家計への経常移転とする。

6. シミュレーション結果

(1) 産業産出量

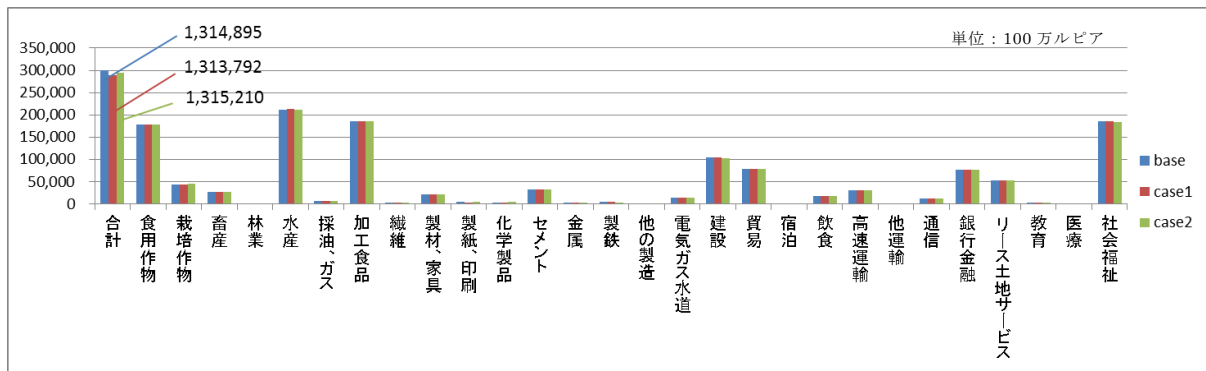


図 2 産業総生産量

産業産出量合計の変化率を見ると、ケース 1 では (-0.084%)、ケース 2 では (0.024%) と大きな変化は見られなかった。これは炭素クレジット取引額が小さいことによるものである。大きな変化となったのはその他製造業(ケース 1 (-93.13%)、ケース 2 (76.83%))、林業(ケース 1 (-76.75%)、ケース 2 (50.44%))であった。これは本研究のモデルにおいて、規模の小さな部門に対し、大きな変化が現れやすいためと解釈される。炭素クレジット売却収入の配分を政府にした場合には産出量が減少し、家計にした場合には産出量が増加する傾向が見られた。

(2) CO₂排出量

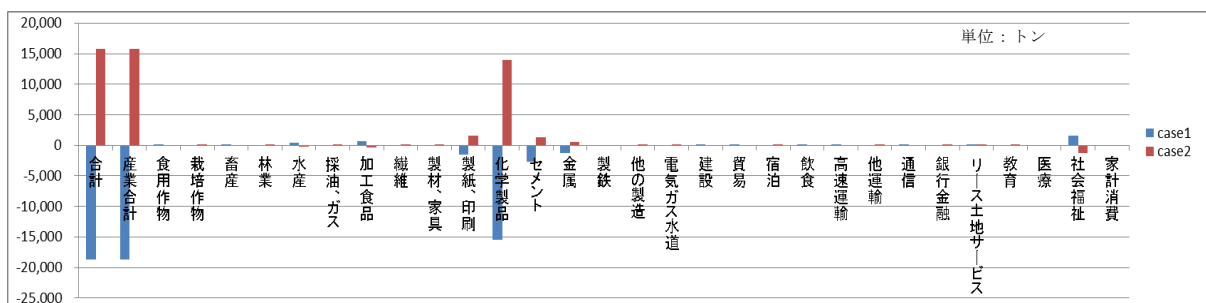


図 3 CO₂排出量 (基準ケースとの差)

ケース 2 を見ると基準ケースよりも多くの CO₂を排出している (0.61%)。これは、炭素クレジット収入が家計の消費需要を増加させ、それが産出量を増加させたことによるものと解釈される。ケース 1 では逆に CO₂排出量削減 (-0.72%) が確認できた。これは炭素クレジット売却収入がマカッサル市内での財需要を余り喚起しないことによるものである。

(3) その他変数

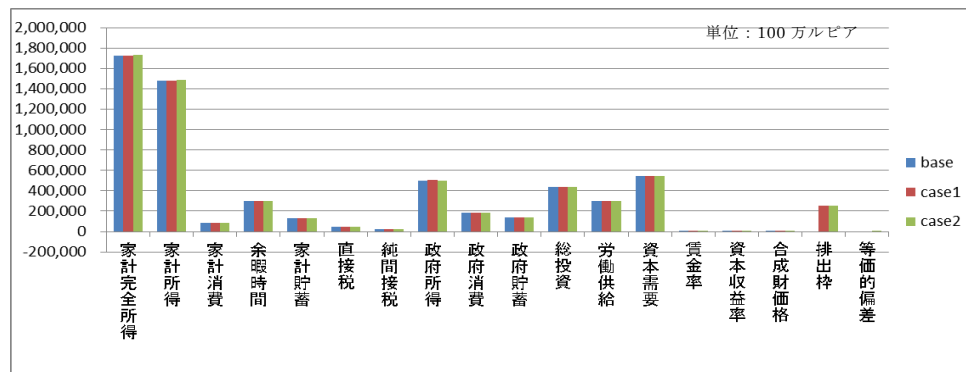


図 4 その他変数

等価的偏差は家計効用の基準ケースとの差を示している。等価的偏差の値が負の場合、家計効用は基準ケースに対して低いことを示している。計算結果はケース 1 が -138.33 百万ルピア、ケース 2 が 1,158.26 百万ルピアとなった。ケース 2 は炭素クレジット売却収入が家計に移転するため、家計効用が高まった結果である。ケース 1 は家計所得、家計消費、余暇時間、家計貯蓄がケース 2 に比べ低く、それが家計効用を低めている。

7. おわりに

本研究での炭素クレジット発行量は小さいため、経済的に与える影響も小さいものに留まった。しかし今後モデルの改良により、より大きな炭素クレジット発行の可能性を探求する予定である。炭素クレジットを売買することによる CO₂排出量削減効果については、本研究のモデルの構造上、大きな削減効果は確認されなかった。ケース 1 の削減効果は炭素クレジット売却収入の配分による影響であるため、CO₂排出量削減は小さなものに留まっている。一方で、炭素クレジットを取引した相手の地域では排出枠の 256,892.8 トンの CO₂を排出できるため、マカッサル市以上の経済的効果が表れている可能性がある。省エネ技術がより進んだ地域と取引した場合、同じ CO₂排出量であっても、相手地域ではより多くの生産が可能となろう。

炭素クレジット売却収入の配分方法により、等価的偏差には大きな違いが見られた。ケース 1 のように炭素クレジットを政府への移転所得とした場合には、家計所得の増加は余り期待されない。その結果、家計の厚生損失となった。ケース 2 では家計所得の増加があり、マカッサル市の CO₂排出量も増加した。今後、炭素クレジットの売却収入を CO₂排出量削減につなげる対策のシミュレーションを行っていきたい。

参考文献

- [1] 環境省 諸外国における排出権取引の実施・検討状況
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/det/os-info/>
- [2] 遠藤正弘 排出量取引をめぐる動向
www.ndl.go.jp/jp/diet/publication/issue/0616.pdf