

地球温暖化防止への国際協力

同志社大学現代アジア研究センター
2007年6月

Nori Tarui (樽井 礼)*
Department of Economics, University of Hawaii

Contact: nori@hawaii.edu

1. はじめに: 気候変動防止に関する課題
2. 温暖化防止のための国際協力の分析
—ゲーム論を用いて
3. アジアに関する政策的示唆

温暖化防止に関する課題

1. どれだけ温暖化ガス排出を削減すべきか?
 - IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の提言、英国Stern Reportとそれに対する批判
2. 1. の削減目標達成のための国際協力は、どのような枠組みのもとで達成されるか?
 - 気候変動枠組条約、京都議定書?

温暖化対策への国際協調: なぜ難しいか?(1)

- 温暖化ガス排出削減の公共財としての性格
→フリーライダー(ただ乗り)の問題
- 国家主権の存在
→各国が正の純便益を得られるような、すなわちself-enforcingな国際協定の必要性

温暖化対策への国際協調: なぜ難しいか?(2)

気候変動対策の費用・便益(世界全体)

便益 \$283; 費用 \$92 (Billions 1990 USD)
便益費用比率 3.08

(Nordhaus and Boyer (2000) *Warming the World: Economic Models of Global Warming*)

米国単独のオゾン層保護政策が米国にもたらす費用・便益

便益 \$3,575; 費用 \$21 (Billions 1985 USD)
便益費用比率 170

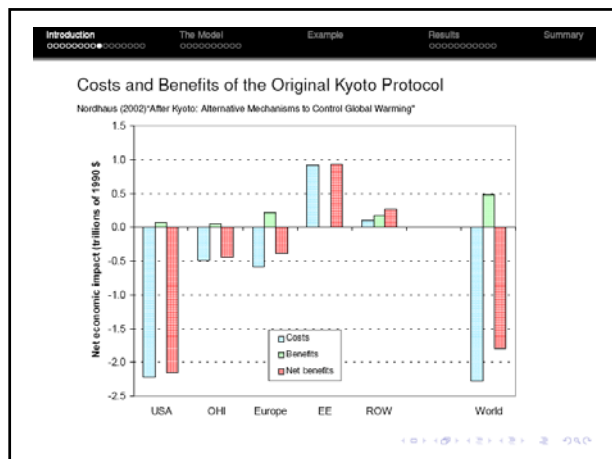
(EPA (1988) Regulatory Impact Analysis: Protection of Stratospheric Ozone)

温暖化問題の特徴

- 動学ゲームとしての側面
 - 国際間の戦略的な取引(米国、中国、EU、...)
 - 繰り返しゲームである
 - 加えてステージゲームは時間を通じて変化(温暖化ガスストックの蓄積、気候の変化、経済成長、技術進歩、...)
- 温暖化による被害の非線形性
- 国家主権の存在 → 各国が正の純便益を得られるような、すなわちself-enforcingな国際協定の必要性

京都議定書の特徴と課題

- ・ 途上国に対する排出削減目標の欠如→非効率な排出削減につながる
- ・ 米国による批准の欠如; 大規模GHG排出国の不参加(中国、インド、…)
- ・ 排出削減目標を達成できなかったら?
 - 制裁メカニズムの欠如
- ・ Self-enforcingでない(いくつかの国については費用が便益を上回る可能性も)



京都議定書をこえて— 温暖化防止のための国際協力

以下の性格を有する協定の設計

- ・ 世界的にみて効率的なGHG排出抑制を目標とする
- ・ 主要GHG排出国すべてが参加・遵守をする動悸をもつ
- ・ 各国の離反を抑止するような制裁のデザイン

温暖化防止のための国際協力 —ゲーム論を用いた分析

- ・ 各国が自国の利益を考慮して温暖化ガス排出量を毎期決めるものと仮定
- ・ 世界的に最適な排出削減をめざす国際協定を考慮
- ・ どのような条件のもとで国際協定参加・遵守が各国の利益最大化につながるか?
 - Self-enforcingな協定の構築

なぜ自国利益を優先する国々が協力しうるか?

ゲームの理論を用いた説明

- ・ 共有地の悲劇・囚人のジレンマ
- ・ くりかえしゲーム
- ・ フォーク定理

囚人のジレンマ・「共有地の悲劇」

		Player 2	
		Cooperate	Overgraze
Player 1	Cooperate	4, 4	1, 5
	Overgraze	5, 1	2, 2

If you were player 1, what would you choose to do?

前頁のゲームが繰り返されたら？

- 次のような「協定」を考えよう
- 第1期にプレイヤー1と2は互いに協力を
選択
- あるプレイヤーが離反したら、次期から双
方が離反を選択。さもなければ、双方は協
力を選択。

フォーク定理

- 両プレイヤーの時間割引率が十分小さければ、前述の協定を遵守することが、両プレー
ヤーにとって自己利益の最大化をもたらす
る
- すなわち、協力することが各人の自己利益
追求につながる(協力が「ナッシュ均衡」とな
る)
- 将来の制裁の可能性が、各人の離反を抑止

フォーク定理を温暖化防止交渉に 応用？

- 気候変動問題の動学的側面
 - 繰り返しゲームである
 - (加えてステージゲームは時間を通じて変化: 温暖化
ガスストックの蓄積、気候の変化、経済成長、技術進
歩、...)
- 京都議定書再考
- どのような国際協定のもとで、各国の自国利益
追求が協定参加・遵守をもたらすか？

ゲーム論を用いた簡単な分析

- 単純化された国際経済モデルを応用
- 各国は毎年の温暖化ガス(GHG)排出量を選択
- GHG排出量が各国の毎年の所得に影響
- 気候は時間を通じてGHG蓄積に応じて変化
- 気候変動が各国に与える経済的影響を考慮

ゲームの仮定

1. N国は每期 温暖化ガス排出量 $\{x_{it}\}$ を選択 ($t = 0, 1, 2, \dots$)
2. 完全情報、不確実性なし
3. t期の排出総量: $X_t \equiv \sum_i x_{it}$
4. S_t : t期のGHG(温暖化ガス)ストック
$$S_{t+1} \equiv \lambda S_t + X_t$$
5. $1 - \lambda$: 温暖化ガスの自然減少率 ($0 < \lambda < 1$)

ゲームの仮定

- 第i国の各期の純便益:
 $\pi_i(x_{it}, S_t)$ (凹関数)
- 排出量増加に応じて増加して後に減少
- GHGストック S_t に関して減少
- δ : 割引因子(各国共通)

Background & Objectives The Model Example Simulation Summary

Country i 's net benefit

$$\pi_i(x_t, S_t) = B_i(x_{it}) - D_i(S_t)$$

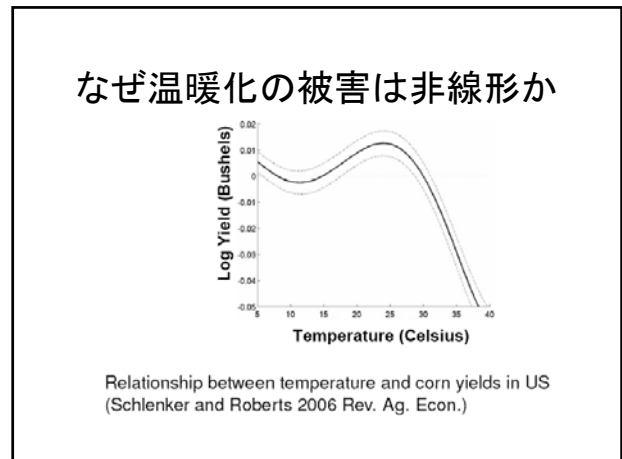
Benefits from own emissions
Concave, increasing up to \bar{x}_i ,
maximized at \bar{x}_i :
"mBAU (myopic business-
as-usual)" emissions

Damages from GHG stock
Strictly convex
Increasing in S

+ Transfer_{it}

(Sum of transfers equals zero in each period)

Payoff_i = Present value of net benefits discounted with $\delta < 1$



最適解(ファースト・ベスト)

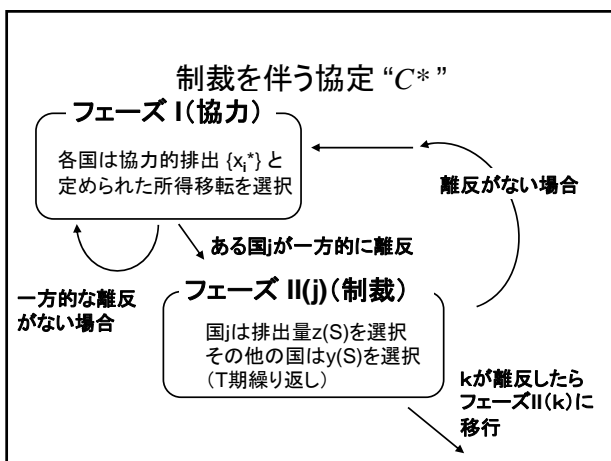
- 共同利潤の最大化

$$V(S) = \max \sum_i \pi_i(x_i, S) + \delta V(S')$$

$$s.t. S' = \lambda S + X$$
- ストックがS'の時の最適なGHG排出量:
 $x^*(S) = \{x_i^*(S)\}$
- 国際協定を用いて $x^*(S)$ を実現できるか?

制裁を伴う協定

- フェーズ I(協力)
各国は協力解 $\{x_i^*\}$ を選択し、排出削減のための規定の費用負担を遵守。ある国 j の一方的な過剰排出または過少な費用負担があり、GHGストックが S' になったら次期にフェーズ II_j(S')に移行。そうでない場合はフェーズIを続行。
- フェーズ II_j(S') (jに対する制裁)
各国は $x_j = (x_{j1}, \dots, x_{jN})$ を T 期選択する。ある国 k が離反してストックが S'' になったら、翌年にフェーズ II_k(S'')に移行。T期の制裁が終わったら、フェーズIIに帰属。

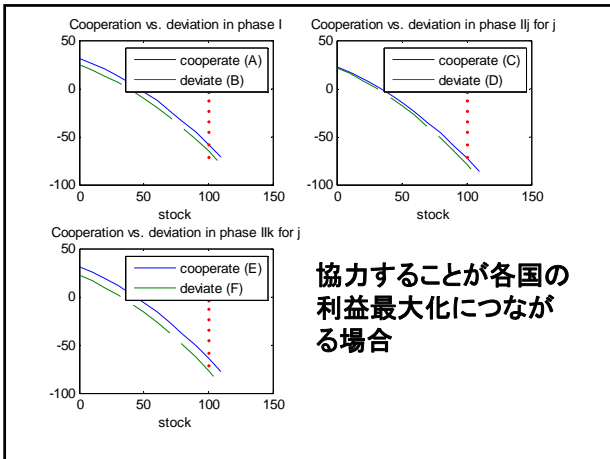


協定C*は遵守されるか？

必要十分条件:

1. どの国もフェーズ Iから離反するインセンティブがない ("No cheating");
2. フェーズ Iで離反した国はphase IIでもう一度離反するインセンティブを持たない ("No repeated cheating");
3. フェーズ IIで制裁を加える国は離反するインセンティブを持たない ("It pays to punish");

- 上記が関連するすべてのGHGストックレベルのもとで成立



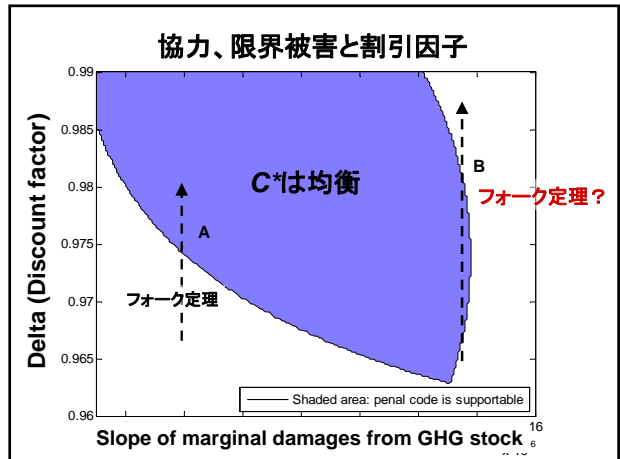
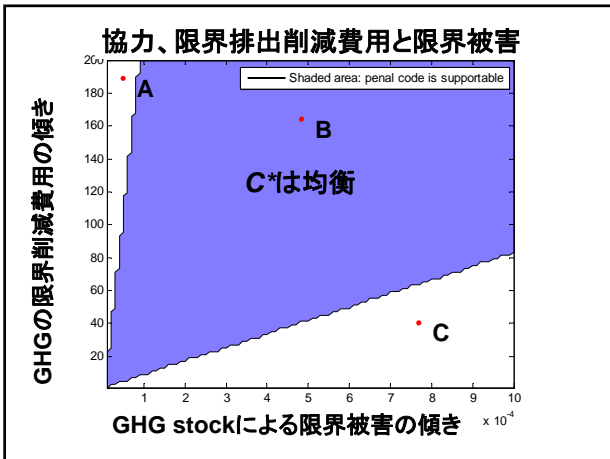
協定 ϕ^* が均衡かどうかは、どのよう
にパラメータに依存するか？

- 2次の関数形を仮定

$$\pi(x_{it}, S_t) = ax_{it} - bx_{it}^2 - dS_t^2$$

$$S_{t+1} = \lambda S_t + \sum_i x_{it}$$

- b はGHGの限界排出削減費用の傾きに、 d はGHGからの限界被害の傾きに比例
- 割引因子: δ



アジアに関する政策的示唆

- 温暖化防止に関する複数のキー・プレイヤー: 中国、日本、インド、...
- これらの国が協力的に行動するような温暖化防止協定のデザイン？
- 簡単な世界経済モデルを利用して上記を分析



Background & Objectives The Model Simulation Summary

Illustration: climate change Assumption (1)

Regionalize the global climate-change models with quadratic benefit and damage functions (Newell and Pizer 2003, Karp and Zhang 2004, 2005)

- One time period = 1 year, starting from 1995
- GHG stock dynamics from Nordhaus and Yang (1996)
- $N = 13$ following Nordhaus and Boyer (2000) classification: USA, Europe, Japan, Other High Income, High-Income Oil, Middle Income, Russia, Low-Middle Income, Eastern Europe, Low Income, China, India, Africa

Background & Objectives The Model Simulation Summary

Illustration: climate change Assumption (2)

Benefit function = -[Cost of emission reduction]
(From Nordhaus and Yang 1996)

Marginal Cost of CO2 emission reduction

Regional Damage Functions (selected countries)

(Based on Nordhaus and Boyer (2000) *Warming the World* MIT Press.)

ポイント: 国によって気候変動による被害の大きさは異なる

各国の費用負担と協力

- 国によって異なる温暖化防止の便益・費用
- 協定は国際間の費用負担の配分を決定する
- 例: 京都議定書で定められた国別GHG排出削減目標

各国の費用負担と協力

Countries included in Annex B to the Kyoto Protocol and their emissions targets	
Country	Target (1990 - 2008/2012)
EU-15*, Bulgaria, Czech Republic, Estonia, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Monaco**, Romania, Slovakia, Slovenia, Switzerland	-8%
US**	-7%
Canada, Hungary, Japan, Poland	-6%
Croatia	-5%
New Zealand, Russian Federation, Ukraine	0
Norway	1%
Australia**	8%
Iceland	10%

*Collective target for EU-15.
**Monaco, US, Australia: Not ratified the Kyoto Protocol as of April 2005.

各国の費用負担と協力

$$\pi_i(x_t, S_t) = B_i(x_{it}) - D_i(S_t) + \text{Transfer}_{it}$$

Benefits from own emissions
Concave, increasing up to \bar{x}_i , maximized at \bar{x}_i : "mBAU (myopic business-as-usual)" emissions

Damages from GHG stock
Strictly convex
Increasing in S

(Sum of transfers equals zero in each period)

Payoff_i = Present value of net benefits discounted with $\delta < 1$

各国の費用負担と協力: 2つのポイント

- 「どの国でどれだけ排出が削減されるべきか」と「どの国がどれだけ排出削減の費用を負担すべきか」は異なる問題である
- 前者は効率上の問題
- 後者は公平上の問題である...
のみならず、費用負担のあり方が、各国の協力へのインセンティブに影響

各国の費用負担と協力(2)

気候変動枠組条約、京都議定書の精神:

「先進国と途上国はCommon but differentiated responsibilitiesを有する」

- Differentiationの度合い?
- 費用負担は
 - 歴史的なGHG排出量やGDP、人口に依存すべきか?
 - 将来にわたる費用・便益を考慮すべきか?

各国の費用負担と協力(3)

- ポイント: 各国の温暖化防止の費用・便益は異なる→「公平」な費用負担は必ずしも各国の協定参加・遵守をうながさない
- IPCCその他の気候・経済モデルによると
 - 米国: 比較的温暖化の被害は少ない
 - インド: 温暖化の被害は、例えば中国に比して大きいものと推測される
- 我々の簡単なゲーム分析によると...
 - 効果的な国際協定のためには、米国への費用負担は京都のもとでより小さくなるべき?

政策的示唆

- 京都議定書を超えて→均衡としての協力的な気候変動対策
- 国により異なる気候変動対策の費用・便益→費用負担のしかたが協定の安定性に影響
- 被害の非線形性→各国の協力へのインセンティブは時間を通じて変化

分析課題

- 人口・技術の変化
- 不確実性
- GHG排出以外(貿易等)の制裁手段を伴う協定

ありがとうございました。

- 注記:
ゲーム論を用いた分析は、Charles F. Mason (Univ. Wyoming)とStephen Polasky (Univ. Minnesota)との共同研究にもとづく。