

# 気候変動の統合評価モデル における緩和費用に関する検討

A Discussion on Abatement Costs  
in an Integrated Assessment Model of Climate Change

○森本壮一\*・松尾雄司\*・大槻貴司\*

\*一般財団法人 日本エネルギー経済研究所  
第37回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス

2021/1/27 講演番号15-2

# 1. 序論

## 1.1 気候変動への対応と統合評価モデル

### 気候変動への対応

- 気候変動対応へのプレッシャーの高まり
- 技術革新の重要性
- 気候システム, 社会・経済システムの慣性

### 統合評価モデル

- 気候変動と経済のトータルバランスを考慮した議論が不可欠  
⇒費用便益分析のための統合評価モデル
- 統合評価モデルの課題: 割引率, 被害額
- 緩和費用に関する検討は不足



# 1. 序論

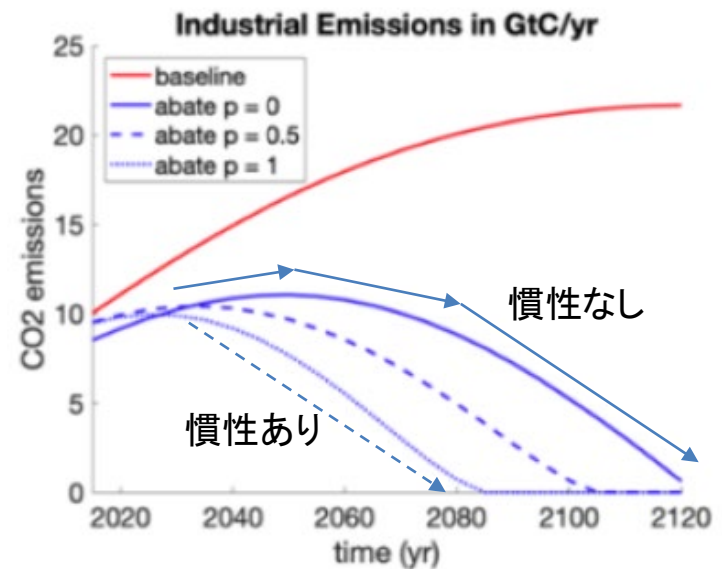
## 1.2 研究開発による学習

- 内生的な技術変化の定式化
  - 研究開発による学習 (Learning-by-Researching)
  - 実施による学習 (Learning-by-Doing)
    - 新しい知識の獲得に投資を要しない楽観的な想定
- 研究開発による学習と費用便益分析
  - 経験的手法 (過去のデータを使用)
  - 専門家への聞き取り調査 (Expert Elicitation)
    - 対象技術が限定され、経済への包括的な影響を見ることが困難

# 1. 序論

## 1.3 社会・エネルギーシステムの慣性

- DICEの緩和費用関数：限界削減費用曲線が所与
  - 本来，限界削減費用曲線は排出経路によって変化
- 先行研究<sup>1)</sup>による慣性のモデル化
  - 緩和費用は削減率の水準だけでなく、変化率にも依存
  - 初期の削減率は高く，削減率の変化はなだらかな(ほぼ線形の)排出経路を推奨(右図<sup>1)</sup>)
  - 技術変化は従来通り外生



1) Grubb, Michael, and Claudia Wieners; Modeling myths: on the need for dynamic realism in DICE and other equilibrium models of global climate mitigation, Institute for New Economic Thinking Working Paper Series, 112 (2020).

# 1. 序論

## 1.4 本研究の目的

- 統合評価モデルの緩和費用に関し検討すべき点
  - 研究開発による学習がもたらす内生的な技術変化
  - 社会・経済システムにおける慣性
- 研究開発投資による学習における慣性のモデル化は不十分
  - スtockによる慣性（先行研究で考慮済み）  
過去からの研究開発投資の蓄積である知識stockがもたらす慣性
  - タイムラグによる慣性（先行研究で未考慮）  
研究開発投資→費用低下→普及に至るタイムラグがもたらす慣性

本研究では、統合評価モデルDICEの緩和費用に関して、**タイムラグによる慣性を踏まえた研究開発による学習効果をモデル化し、費用便益分析に与える影響を評価することを目的とする。**（投資の効果が表れるまでのタイムラグを考慮することで、研究開発投資の重要性は著しく下がるか？）

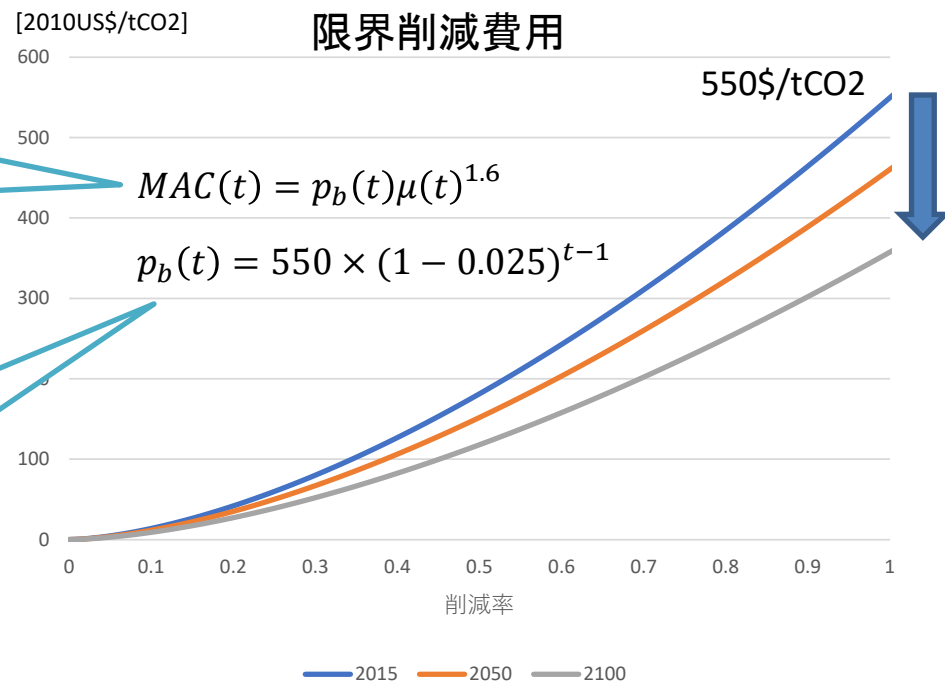
## 2. 手法

### 2.1 DICE

- 標準的な経済成長理論モデルをベースに以下をモデル化
  - 温室効果ガスの排出と緩和費用
  - 簡易気候モデル
  - 気候変動による被害額(気温上昇の関数)
- 緩和費用の設定

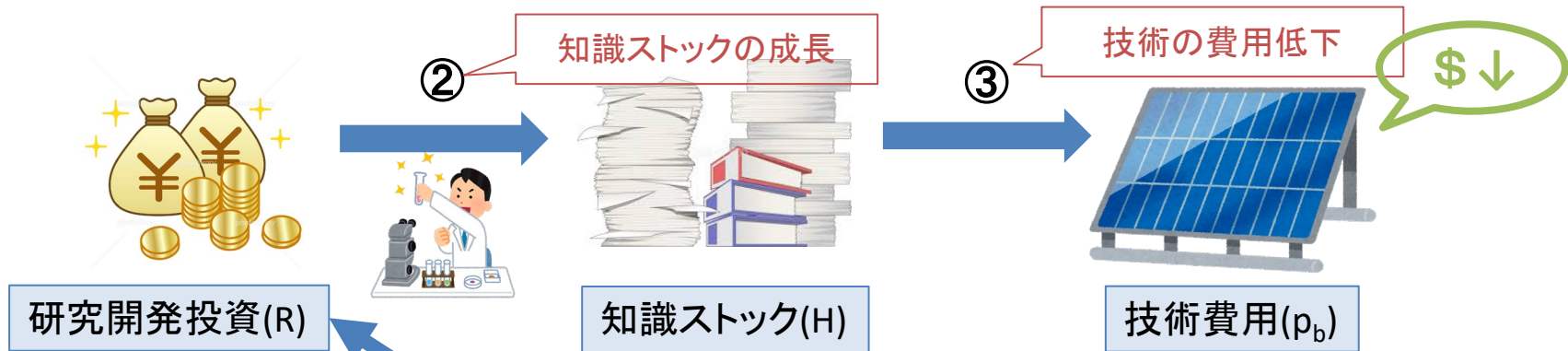
○限界削減費用(MAC)  
削減率( $\mu$ )の1.6次関数

○バックストップ技術費用( $p_b$ )  
2015年( $t = 1$ )において550\$/tCO<sub>2</sub>, その後年率0.5%のペースで自動的に低下(技術変化は外生)



## 2. 手法

### 2.2 研究開発による学習の定式化



○研究開発投資の機会費用( $\kappa$ )  
 先行研究の事例は  $\kappa = 1, 2, 4$  など, 定まった見解なし, 本研究では  $\kappa = 1$  とし, 感度分析も合わせて実施

○知識ストックの成長( $a, b, \varphi$ )  
 $\varphi$  は先行研究<sup>3)</sup>を参照,  $a, b$  はDICEにおけるバックストップ技術の自動的な費用低下(年率0.5%)が, 足元の研究開発投資水準の継続の下でもたらされると想定し推計

$$\textcircled{1} \quad Q(t) = C(t) + I(t) + \kappa \cdot R(t)$$

$$\textcircled{2} \quad H(t) = H(t-1) + aR(t-1)^b H(t-1)^\varphi$$

$$\textcircled{3} \quad p_b(t) = 550/H(t)$$

1) Goulder, Lawrence H., and Koshy Mathai; Optimal CO2 abatement in the presence of induced technological change, Journal of Environmental Economics and management, 39-1 (2000), pp.1-38.

2) Nordhaus, William D; Modeling induced innovation in climate-change policy, Technological change and the environment, 9 (2002), pp.259-290.

3) Popp, David; ENTICE-BR: The effects of backstop technology R&D on climate policy models, Energy Economics, 28-2 (2006), pp.188-222.

## 2. 手法

### 2.3 研究開発による学習における慣性の導入

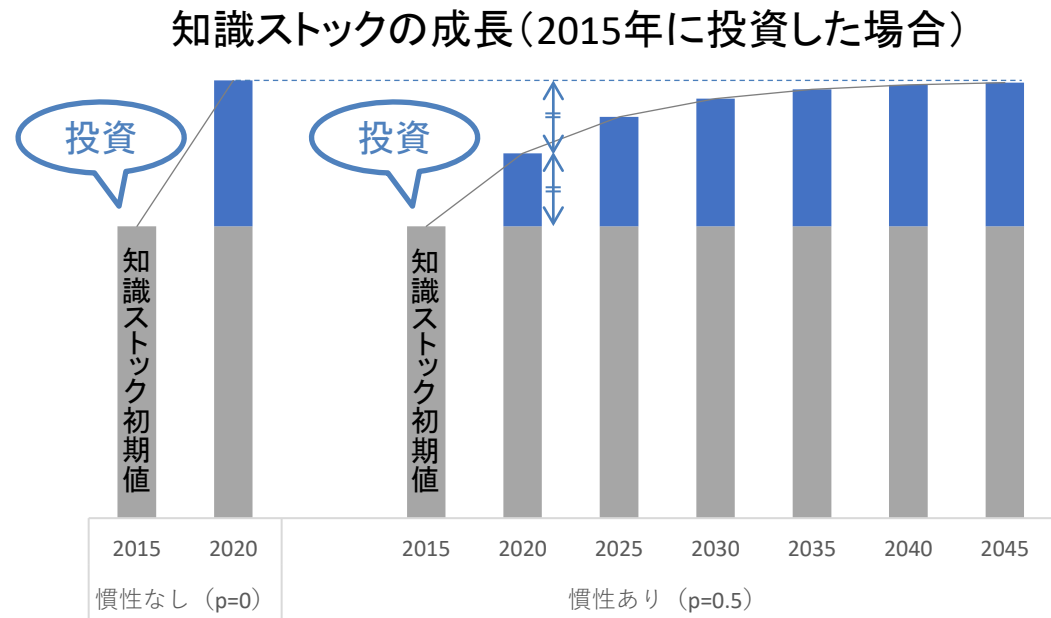
- バックストップ技術に対する研究開発投資から技術の費用低下、普及に至るまでの**タイムラグによる慣性**を下式で表現

$$\Delta H(t) = (1 - p) \cdot h(t - 1) + p \cdot \Delta H(t - 1)$$

$$\Delta H(t) = H(t) - H(t - 1)$$

$$h(t) = aR(t)^b H(t)^\varphi$$

- 緩和費用関数に対して慣性を導入した先行研究<sup>1)</sup>を参考に、知識ストックに対する慣性の強さを表現する**パラメータ  $p$  ( $0 \sim 1$ )**を導入
- $p = 0$  とおくと従来の定式化に帰着(慣性なし)
- 本研究では、 **$p$  を0.5と設定**し、感度分析も実施



1) Grubb, Michael, and Claudia Wieners; Modeling myths: on the need for dynamic realism in DICE and other equilibrium models of global climate mitigation, Institute for New Economic Thinking Working Paper Series, 112 (2020).



## 2. 手法

### 2.4 モデル構築・求解

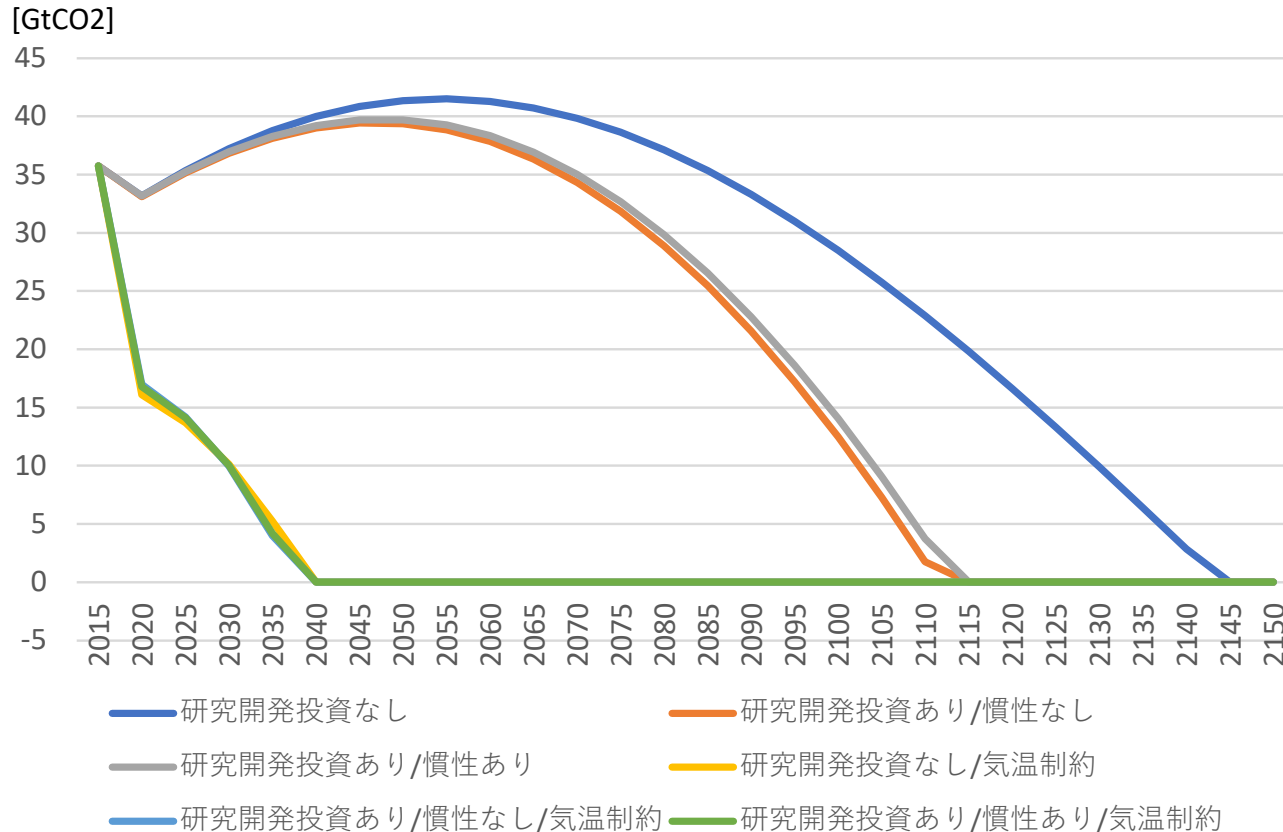
- 最新版であるDICE-2016R2をベース
  - GAMSコードをPythonで書き換え, ipoptで求解
  - 計算ケース(6ケース)
    - 研究開発投資なし※
    - 研究開発投資あり・慣性なし( $p = 0$ )
    - 研究開発投資あり・慣性あり( $p = 0.5$ )
- } × 気温制約(2.5°C)あり・なし

※ バックストップ技術の費用を550ドル/tCO<sub>2</sub>で固定しているため、元々のDICEの最適解とは異なる点に留意。

# 3. 結果と考察

## 3.1 CO2排出量

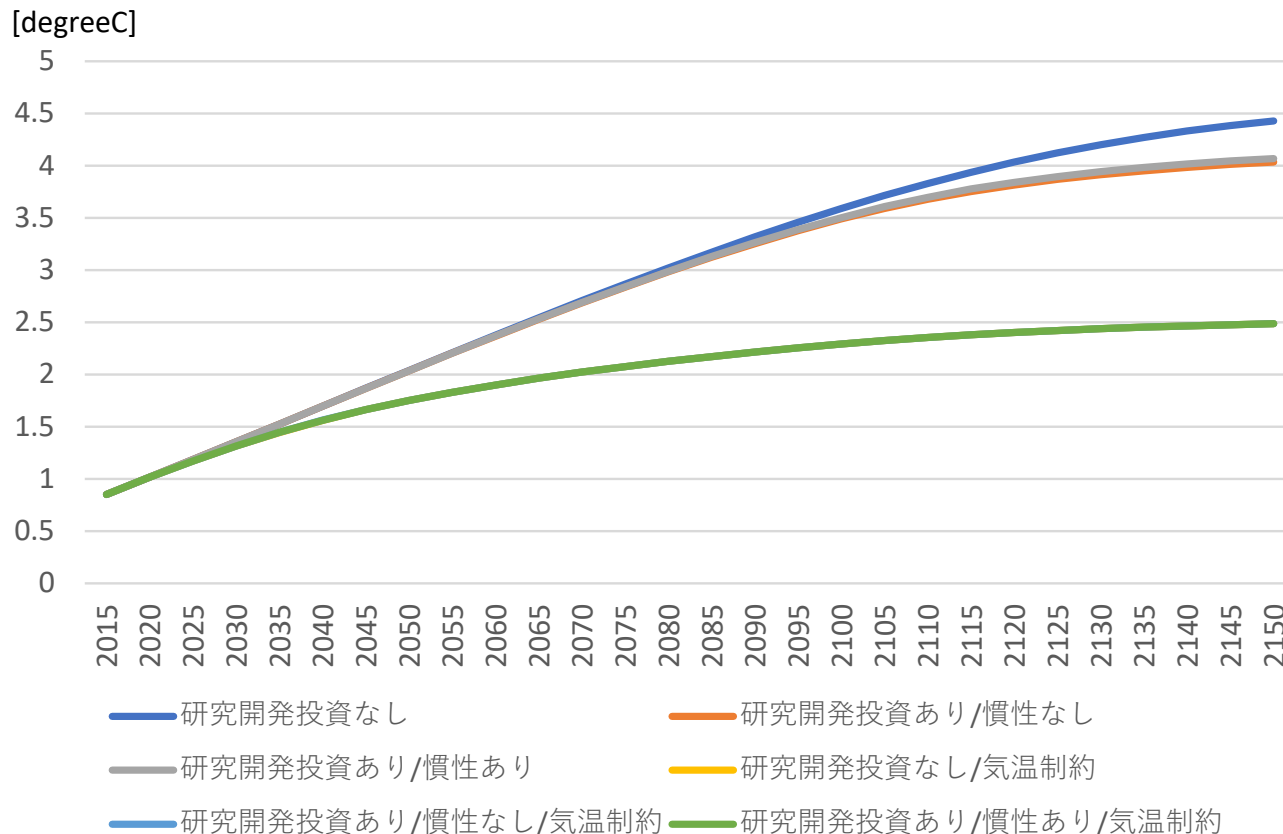
- 研究開発投資を考慮すると、近い将来の排出量はそれほど変化しないが、2035年以降、徐々に排出量の削減が加速
- タイムラグによる慣性を考慮すると、考慮しない場合と比べ、最適な排出経路はわずかに上昇するものの、あまり変化しない。



### 3. 結果と考察

#### 3.2 気温上昇

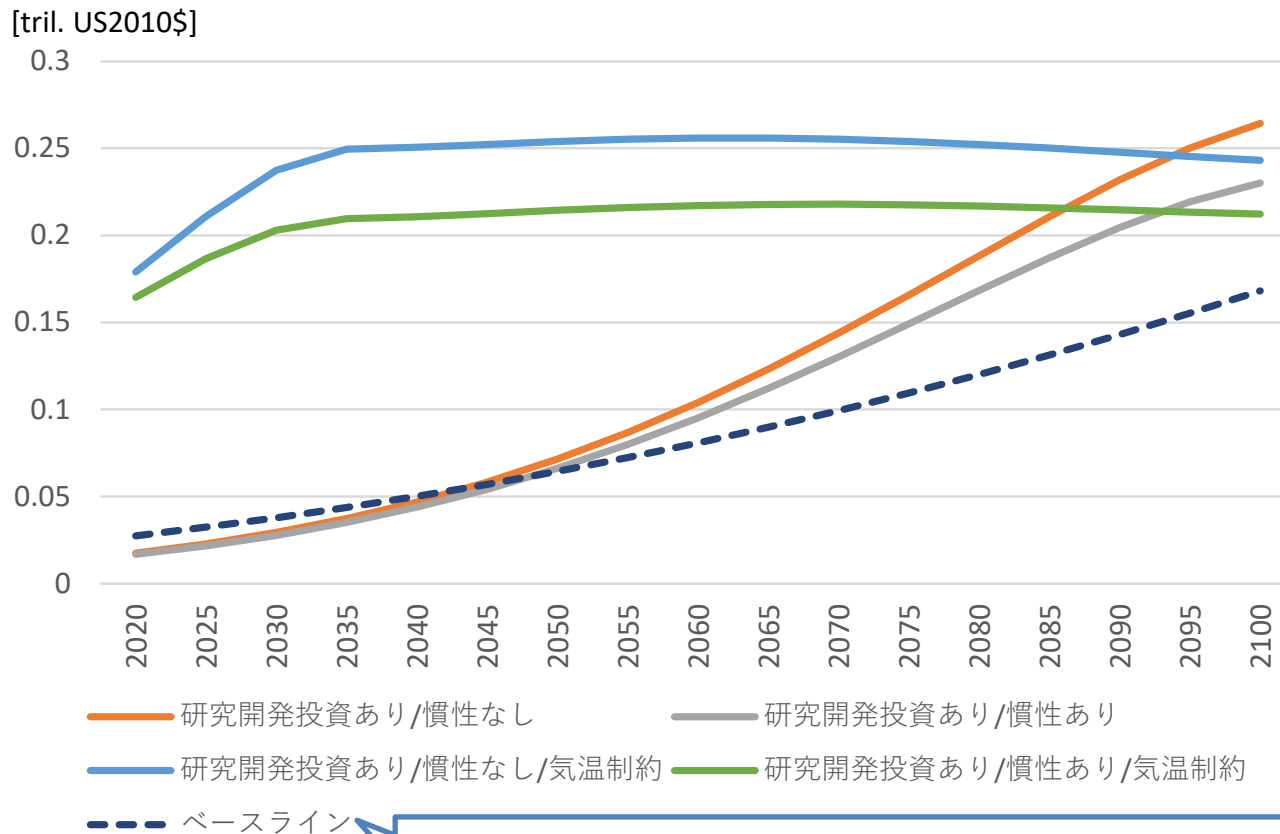
- 気温制約を課さないケースについて、2150年の気温上昇は研究開発投資なしの場合で4.4°Cであるが、これが研究開発投資により、慣性なしの場合に0.39°C、慣性ありの場合に0.36°C低下する。



### 3. 結果と考察

#### 3.3 研究開発投資

- 慣性を考慮した場合は、考慮しない場合と比べ、研究開発投資の水準・増加率ともに低下するものの、**今世紀前半までの投資額には大きな差はない。**
- 気温制約を課したケースでは、最適な研究開発投資水準は**大幅に増加。**

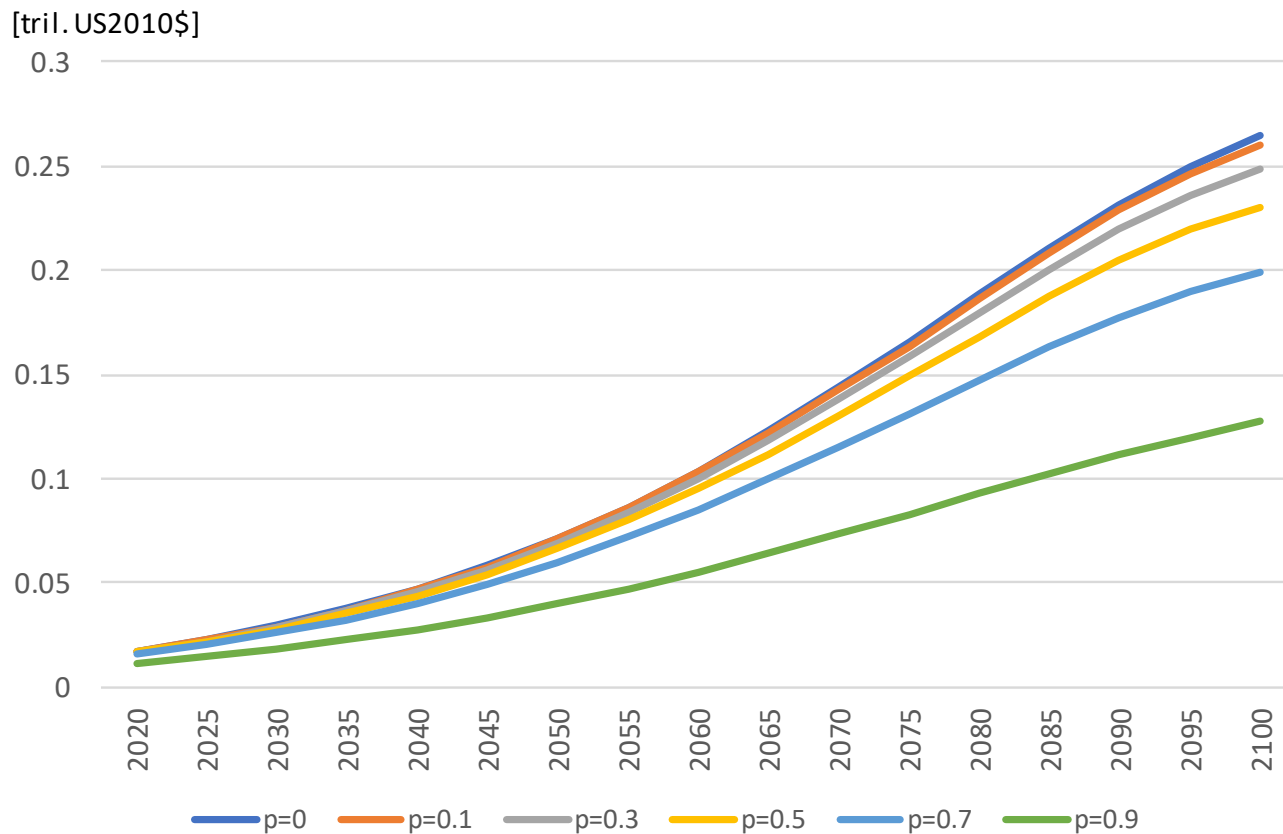


GDPに対する低炭素技術への研究開発投資割合を現状(2015年)一定とした場合の研究開発投資の推移

## 4. 感度分析

### 4.1 研究開発投資(パラメータ $p$ に関する感度分析)

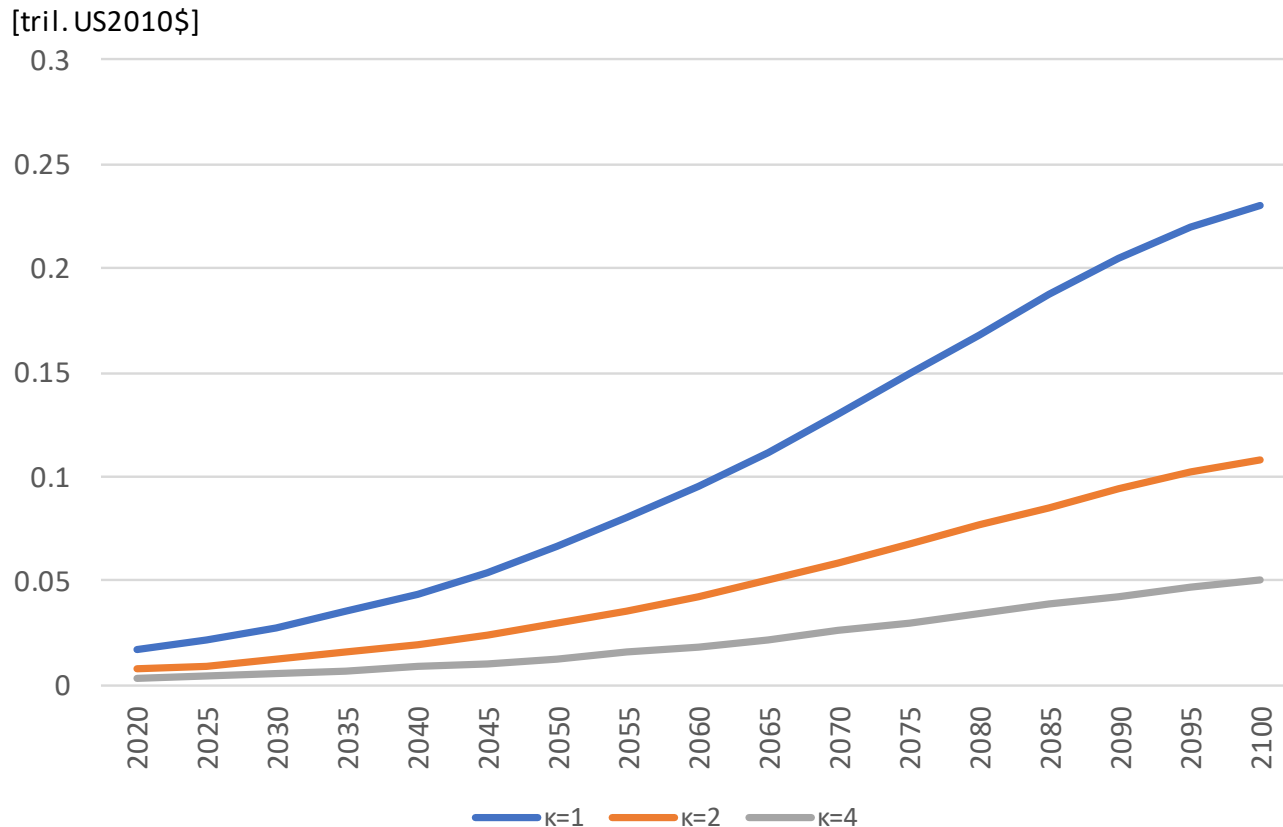
- $p$  が0.5(知識ストックに対する寄与が, 投資から5年後で50%, 20年後で94%)までであれば, 今世紀前半の研究開発投資の最適経路はほとんど変化しない.



## 4. 感度分析

### 4.2 研究開発投資(パラメータ $\kappa$ に関する感度分析)

- 機会費用の程度( $\kappa$ )が研究開発投資の最適水準に与える影響は大.
- 一方で,  $\kappa$  は研究開発投資の増加率には影響を及ぼさない(例えば, 2050年における研究開発投資額はいずれのケースでも2020年の約4倍).



## 5. 結論

- 統合評価モデルDICEの緩和費用に関して研究開発による学習効果を導入し、さらにそこに研究開発投資から費用低下、普及に至るまでの一連の慣性(タイムラグ)による影響を反映したうえで費用便益分析を実施。
- 研究開発投資は短期の排出削減にはほとんど影響を与えないが、長期の排出削減には徐々に大きな影響を与える。
- タイムラグによる慣性を考慮した場合、研究開発投資の水準・増加率は、慣性を考慮しない場合と比較して低下するものの、今世紀前半の投資額には大きな差がなく、近い将来における研究開発投資は依然として重要である。
- 気温制約を考慮すると、特に今世紀前半の研究開発投資の重要性は飛躍的に高まる。

将来の削減率を高めるために研究開発投資による技術革新を進めることは対策の先送りであると指摘されることがあるが、本研究の結果を踏まえると、**投資の効果が表れるまでのタイムラグを考慮したとしても、足元での研究開発投資の重要性は変わらず**、さらにパリ協定の長期目標を目指す中においては、その重要性は益々高まっている。