

Z650シナリオの経済性評価

—DICEモデルによる分析—

畠瀬和志(神戸大学)

馬奈木俊介(東北大学)

分析手法

1. DICEモデルによるシミュレーション
2. 3つの政策シナリオについて基本的な計算を行った
 - 「Z650」「500 ppm安定化」「C450 ppm安定化」の3つのシナリオについて計算
3. 費用便益分析を行った

DICEモデルの概要

- Yale UniversityのWilliam D. Nordhausが開発
 - 「DICE」とは、Dynamic Integrated model of Climate and the Economyの略。

- 全期間の効用Uを最大化する最適化モデル

$$\max_{c(t)} \sum_{t=1}^T U[c(t)](1+\rho)^{-t} \quad \rho: \text{時間選好率}; c: \text{一人当たり消費}$$

- CO₂蓄積モデルには、大気1層・海洋2層のボックスモデルを採用
- 温暖化被害は被害関数「 $a_1 T_e(t)^{a_2}$ 」(T_e: 気温上昇)を用いて経済モデルにフィードバック

DICE方程式の概略(経済的要素)

$$\text{Max} \sum_{t=0}^T \left[(1 + \rho)^{-t} L_t \log \left(\frac{C_t}{L_t} \right) \right]$$

Eq. 1. 目的関数(効用最大化)
 ρ : 時間選好率; C : 消費; L : 労働

$$K_t = (1 - \delta_K) K_{t-1} + I_{t-1}$$

Eq. 2. 資本蓄積
 C : 資本; I : 投資

$$Y_t = A L_t^{1-\gamma} K_t^\gamma$$

Eq. 3. 生産関数
 A : 全要素生産性

$$Y_t = C_t + I_{t-1}$$

Eq. 4. マクロ経済恒等式
 Y : 総生産

DICE方程式の概略(気候変動要素)

$$Q_t = \frac{Y_t}{1 + A_2 T e_t^{A_3}}$$

Eq. 5. 温暖化被害込みの総生産
 Q : 被害込み総生産; Te : 気温上昇
 A_2, A_3 : 温暖化被害関数のパラメータ

$$E_t = \sigma_t (1 - \mu_t) Y_t$$

Eq. 6. CO₂排出関数
 E : CO₂排出量、 σ : 排出係数

$$CC_t = \beta E_t + (1 - \delta_{CC}) CC_{t-1}$$

Eq. 7. 大気中のCO₂蓄積量
(大気1層、海洋2層のボックスモデル)
 CC : CO₂蓄積量; β, δ_{CC} : パラメータ

シミュレーションの計算条件

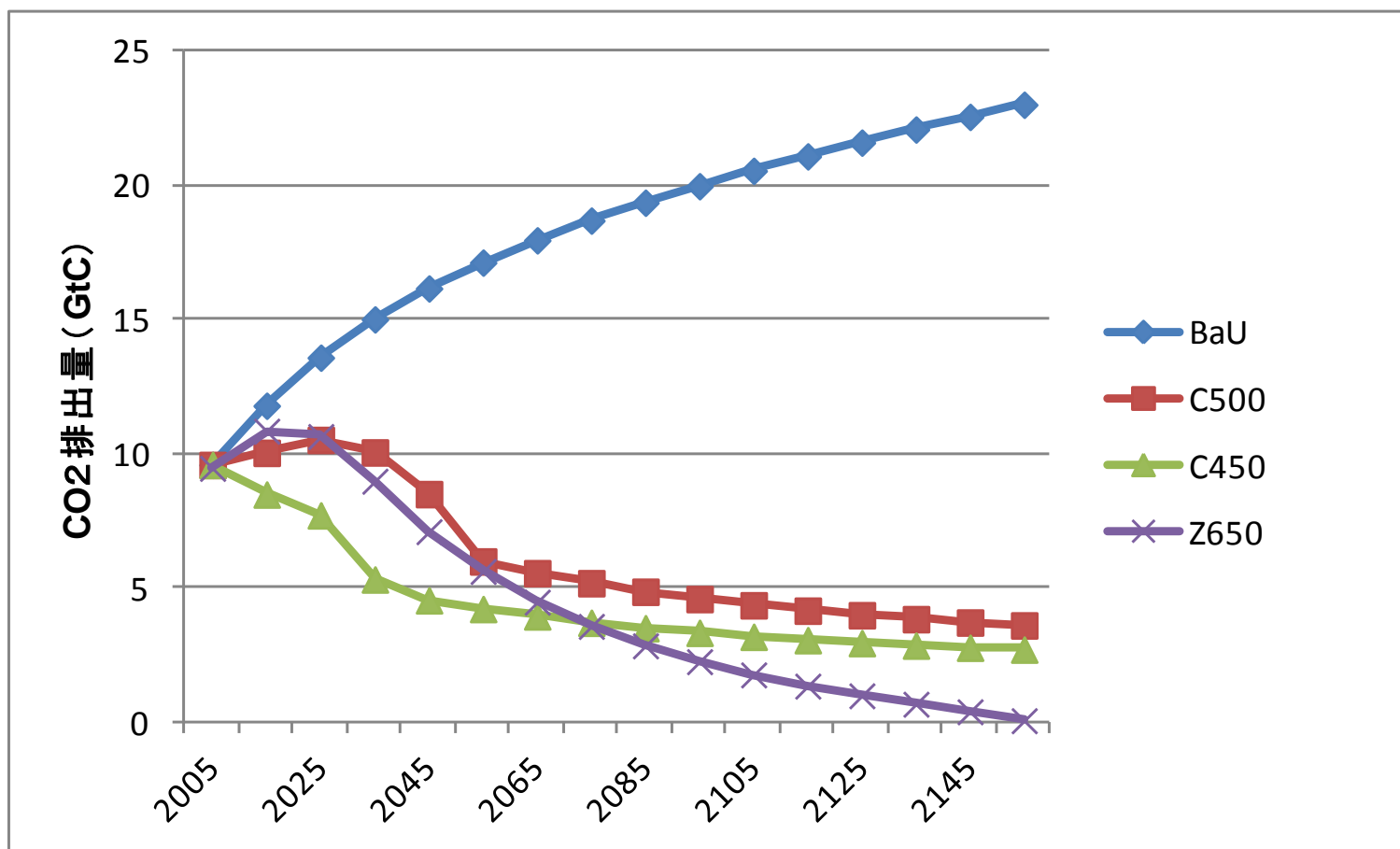
- シミュレーションのシナリオは「C500」「C450」「Z650」の3種類とする
 - 各シナリオの制約条件以外は、共通のパラメータ(以下)を使用
- 経済モデル・CO₂排出モデルのパラメータ設定にはDICE-2010のデフォルト設定を使用
- 気候モデルのパラメータ設定にはDICE-2007のデフォルト設定を使用
 - 被害関数にもDICE-2007のデフォルト設定を用いる

シミュレーションのシナリオ

シナリオ名	説明
C500	CO ₂ 濃度の上限を500ppmに制限
C450	CO ₂ 濃度の上限を450ppmに制限
Z650	CO ₂ 排出量をZ650シナリオの排出量に固定

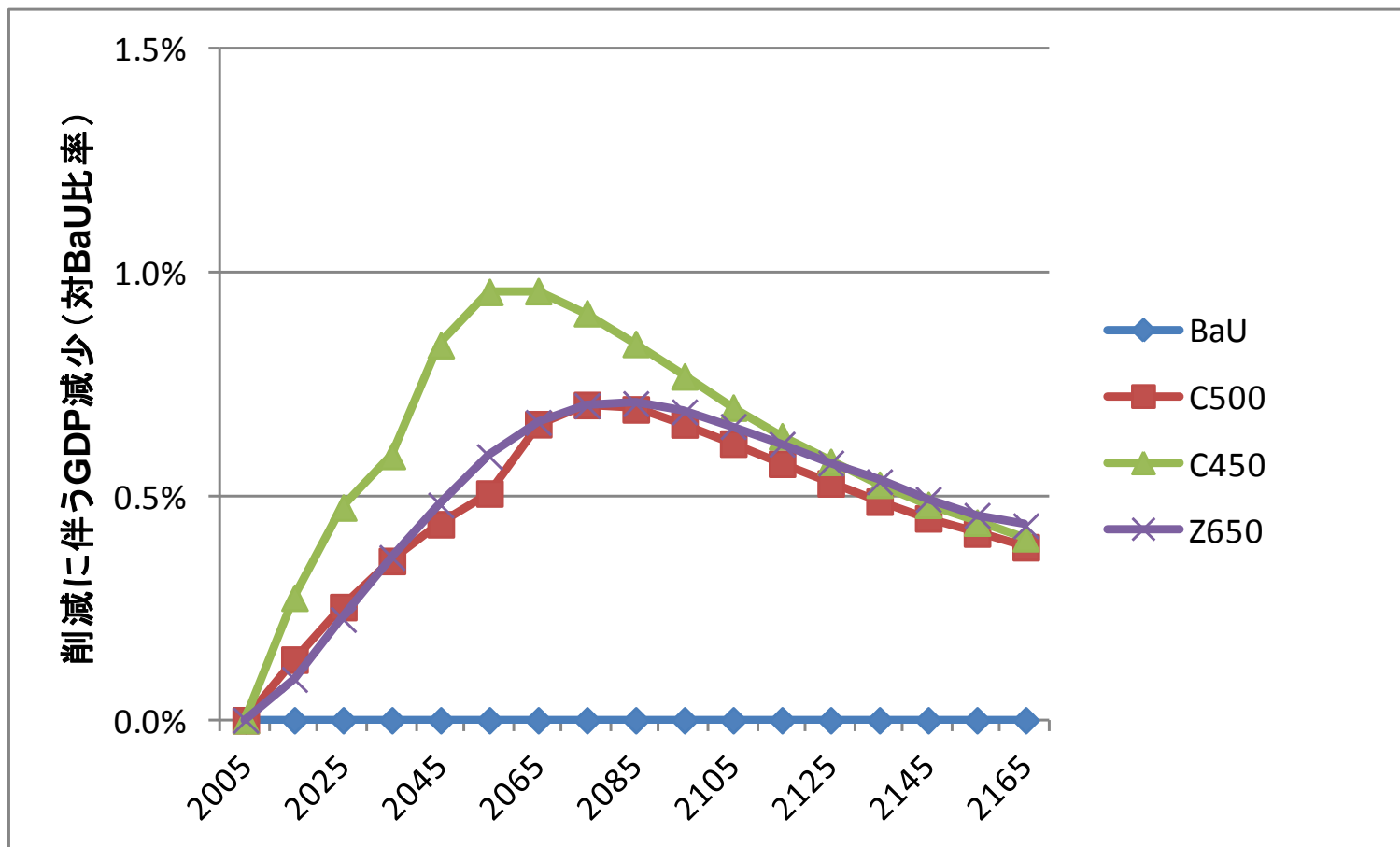
計算結果：CO₂排出量（長期）

- Z650シナリオの排出量は22世紀半ばにはゼロに近づく。他方、C500とC450は22世紀もCO₂排出が続く



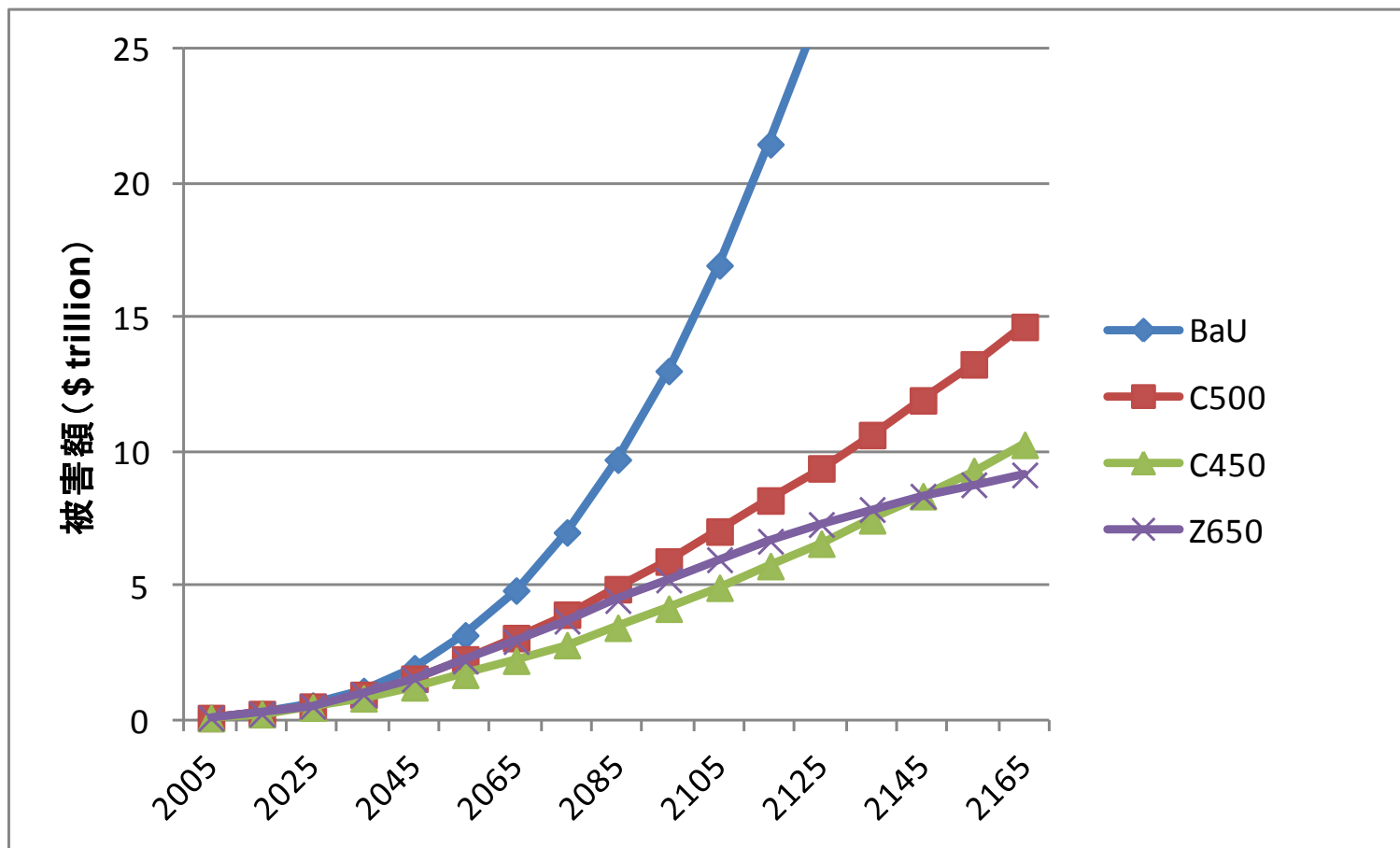
計算結果：CO₂削減に伴うGDP減少

- Z650シナリオによるGDP減少は、C500と同程度である。C450のGDP減少はずっと大きい。



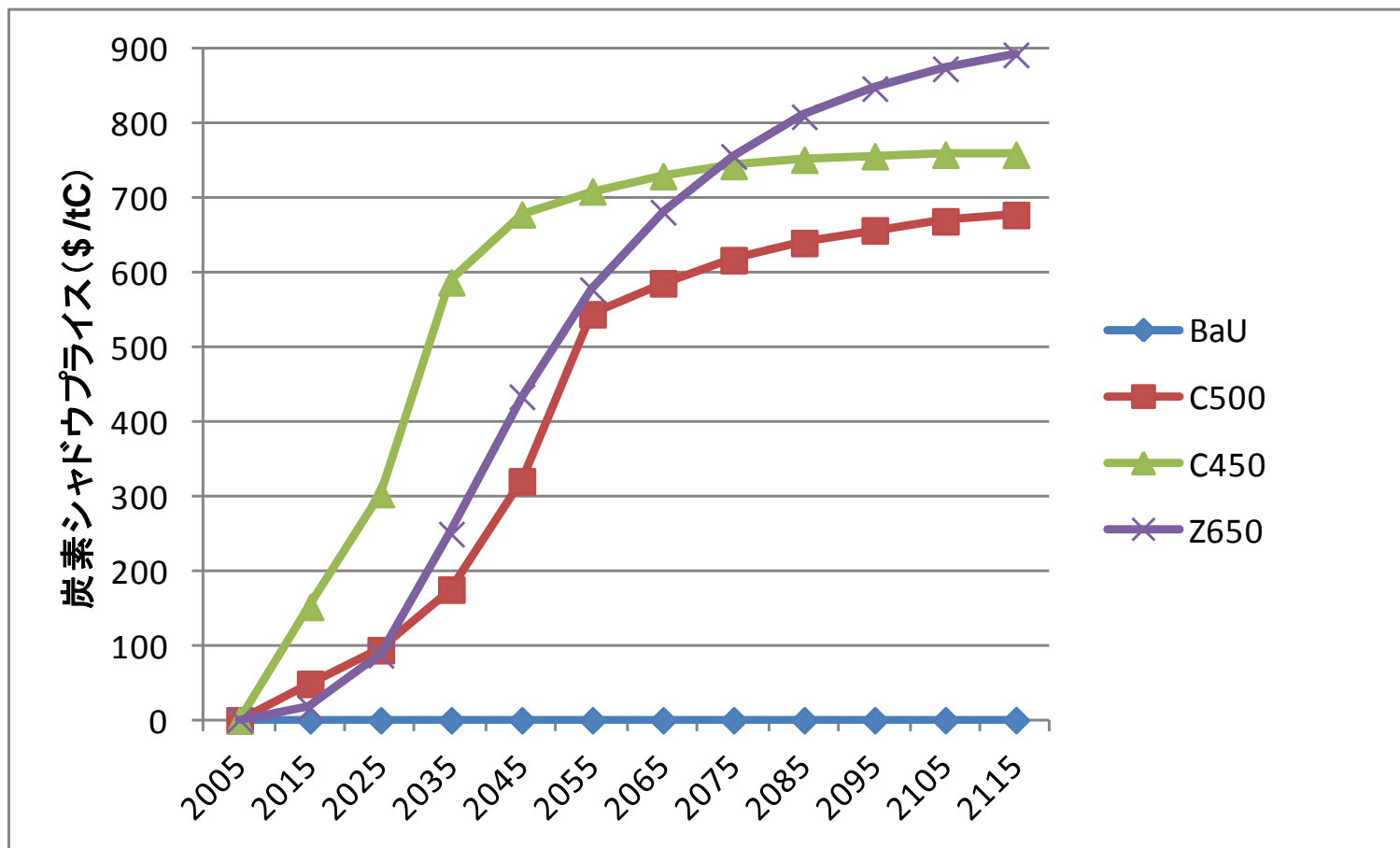
計算結果：温暖化による被害額

- Z650シナリオの被害額は、21世紀はC500と同程度であるが、22世紀後半にはC450の被害額を下回る。



計算結果：炭素シャドウプライス

- Z650の炭素シャドウプライス(限界削減費用)は21世紀前半はC500に近いが、21世紀後半には大きくなる。



「被害費用込みGDP」の計算

- Sustainable Developmentの指標として、温暖化被害を反映させたGDPを計算。
- 計算式：

$$Q(t) = \frac{Y(t)}{1 + D(t)}$$

$$D(t) = A_2 T e_t^{A_3}$$

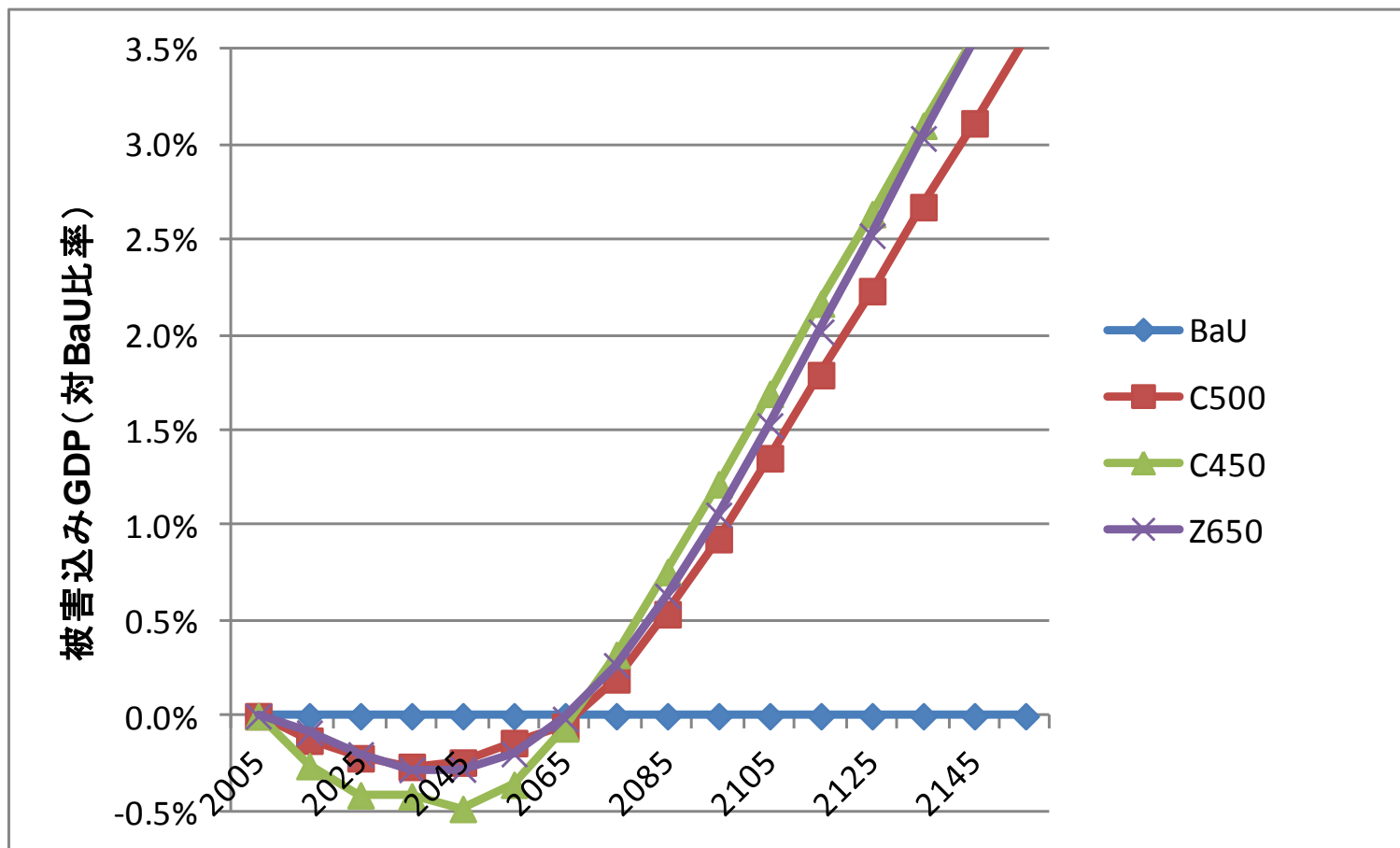
$Q(t)$: 被害費用込みGDP

$D(t)$: 被害関数 (A_2 、 A_3 : パラメータ)

- パラメータにはDICE-2007モデルの値を使用

計算結果：被害費用込みGDP

- Z650シナリオの被害費用込みGDPは、21世紀前半の減少が小さく22世紀以降の増加が大きい。



費用便益分析

- 各シナリオの[便益－費用]の総和の割引現在価値として評価
- 計算式：

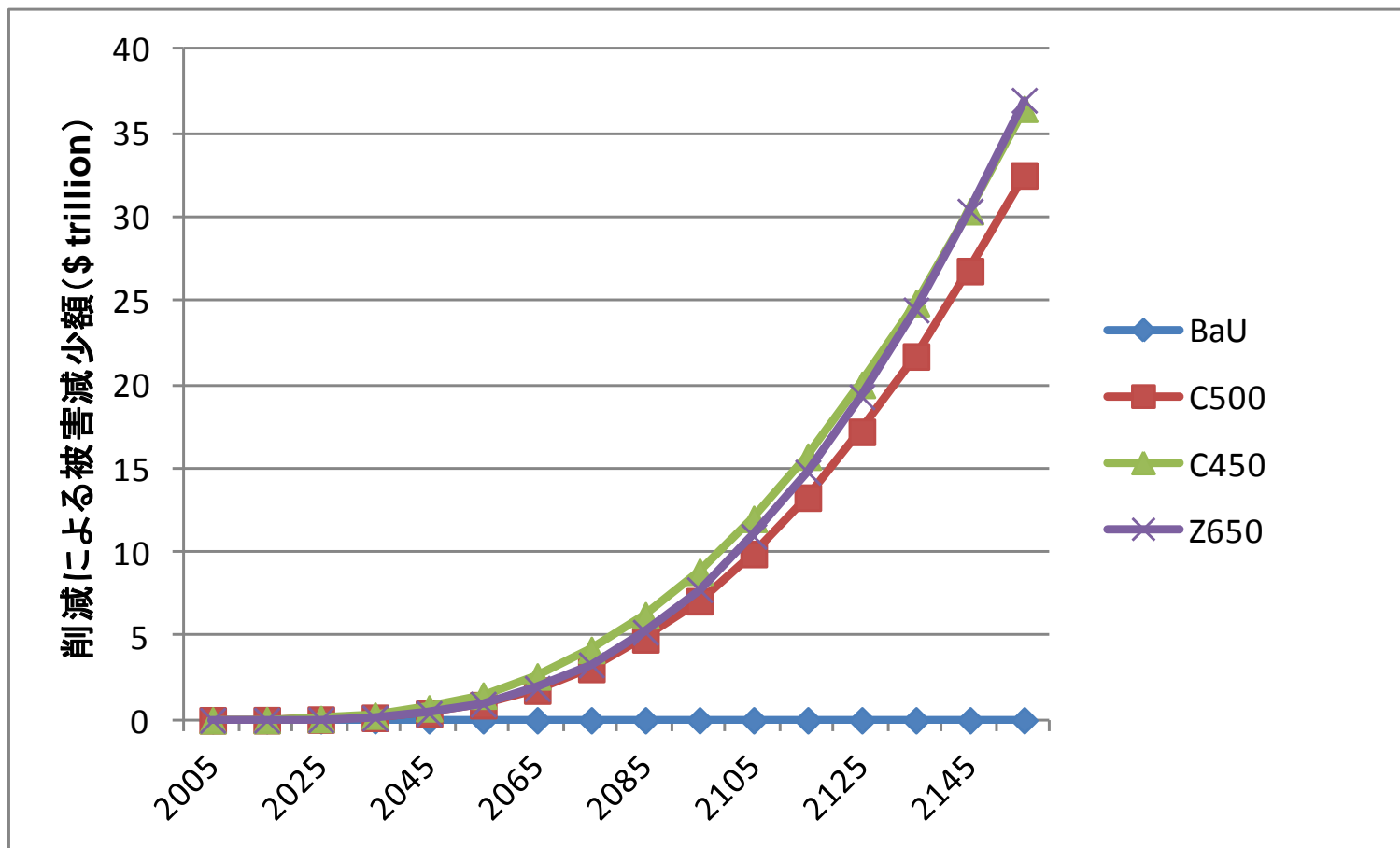
$$\sum_{t=2005}^T \frac{\text{削減による被害減少}(t)}{(1+r)^t} - \sum_{t=2005}^T \frac{\text{削減費用}(t)}{(1+r)^t}$$

r : 割引率

- 次ページ以降では、便益(削減による被害減少)と費用を別々にグラフ化し、最後に[便益－費用]の総和を示す

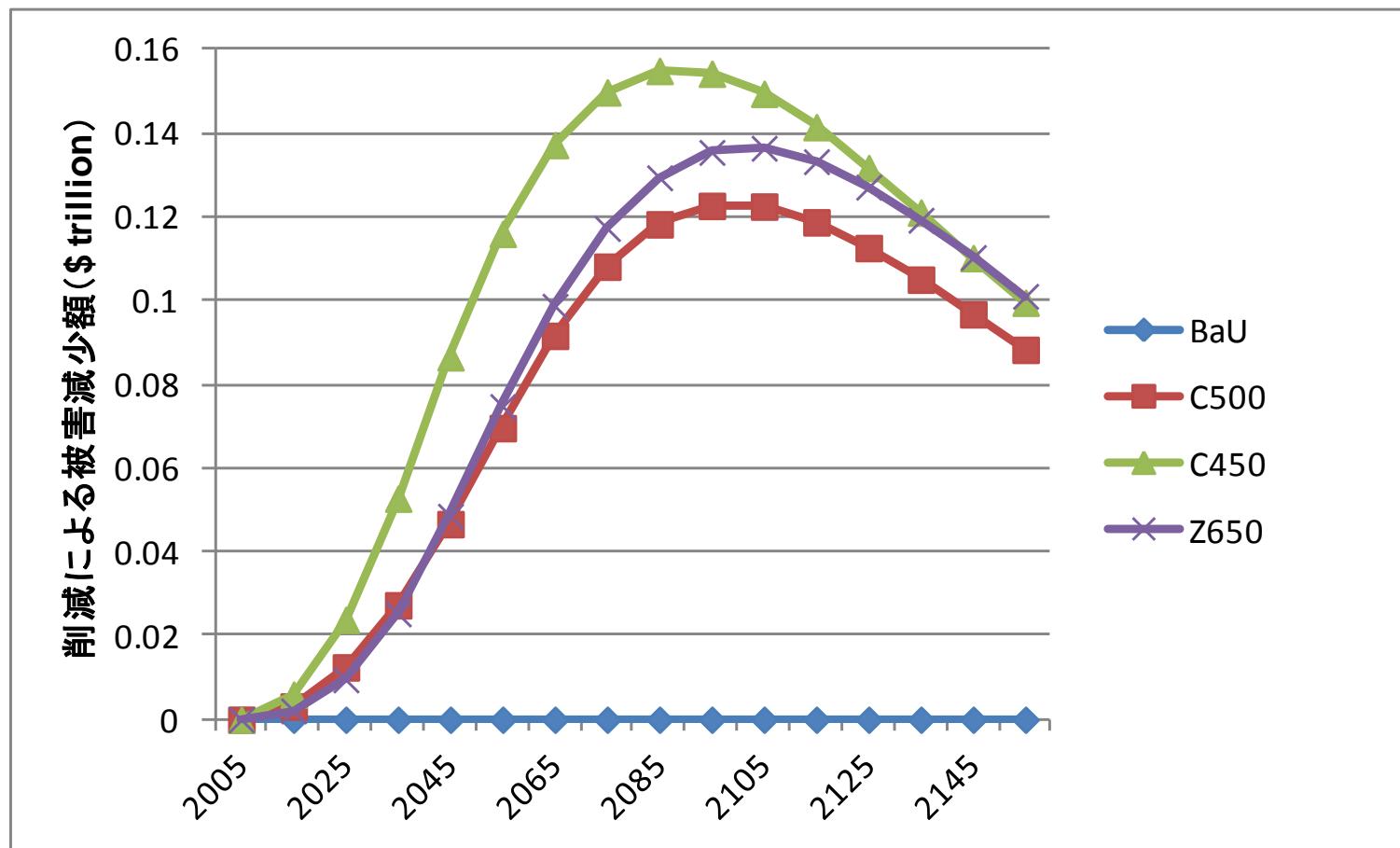
費用便益：削減による便益（割引なし）

- Z650シナリオの被害減少（削減による便益）は、22世紀後半にはC450より大きくなる



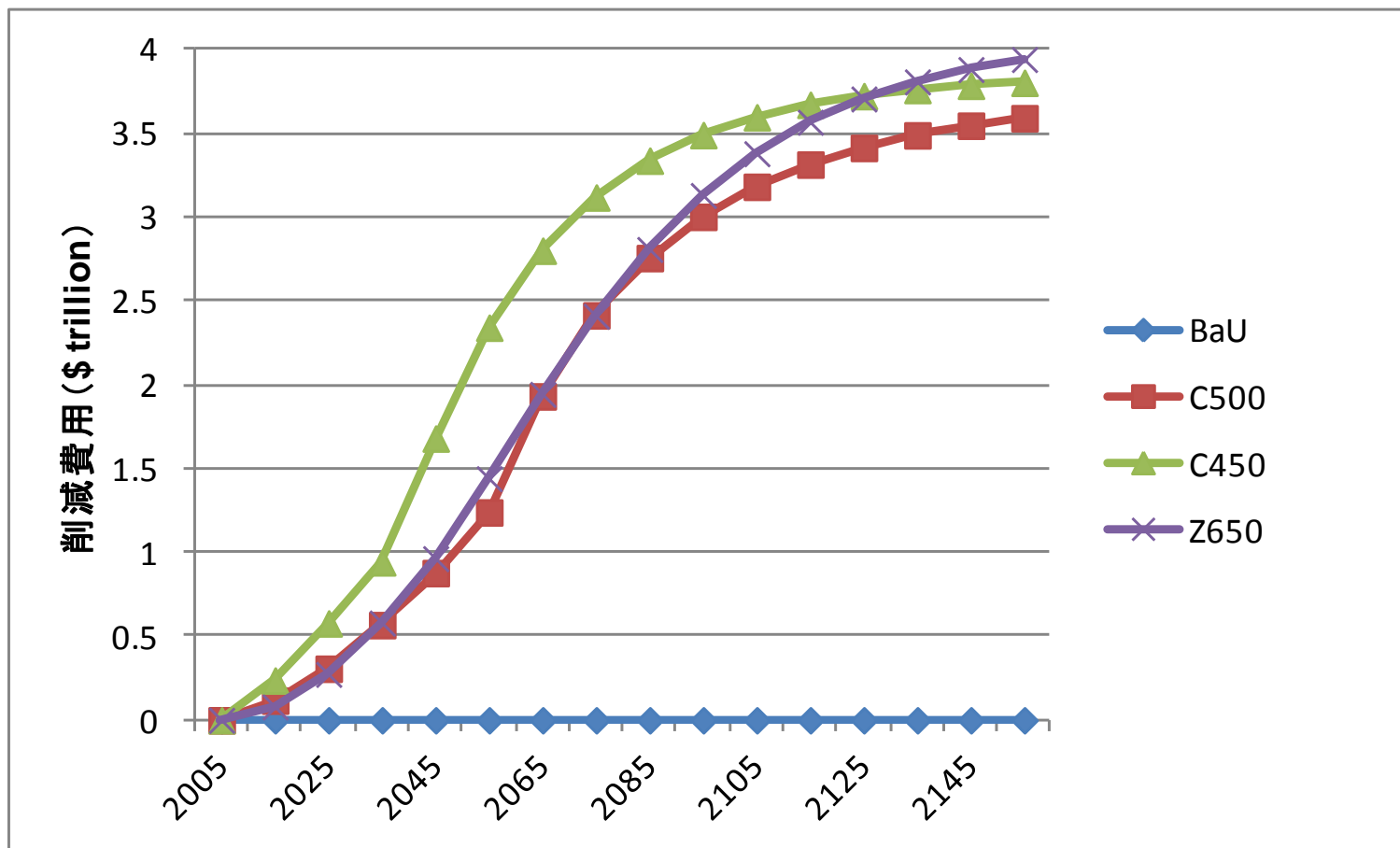
費用便益：削減による便益（割引あり）

- 現在価値で見た被害減少（削減による便益）は、2100年頃が最も大きい。



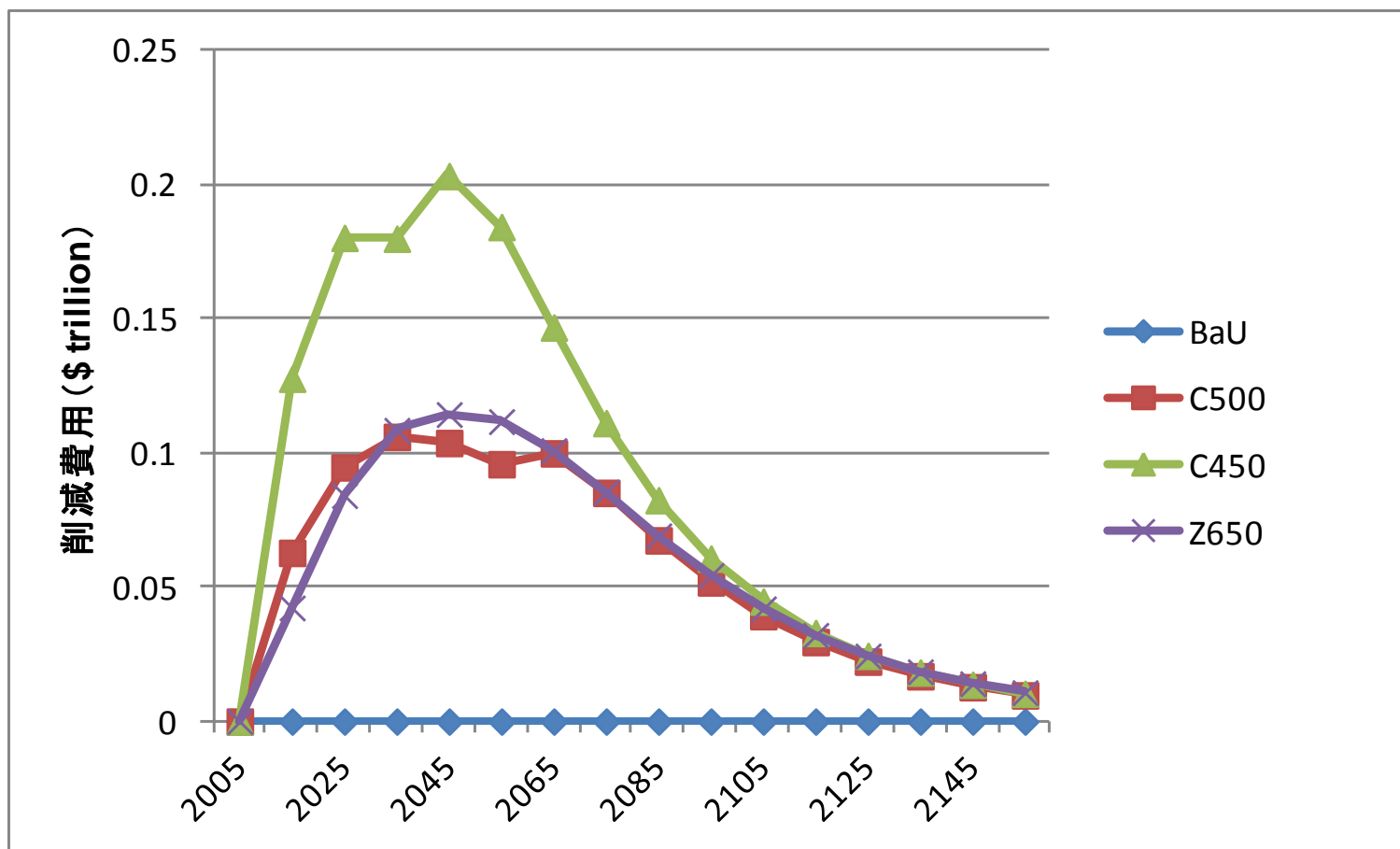
費用便益：削減費用（割引なし）

- BaUのGDPと各シナリオのGDPの差として計算。Z650の削減費用は、21世紀中はC500と同程度である。



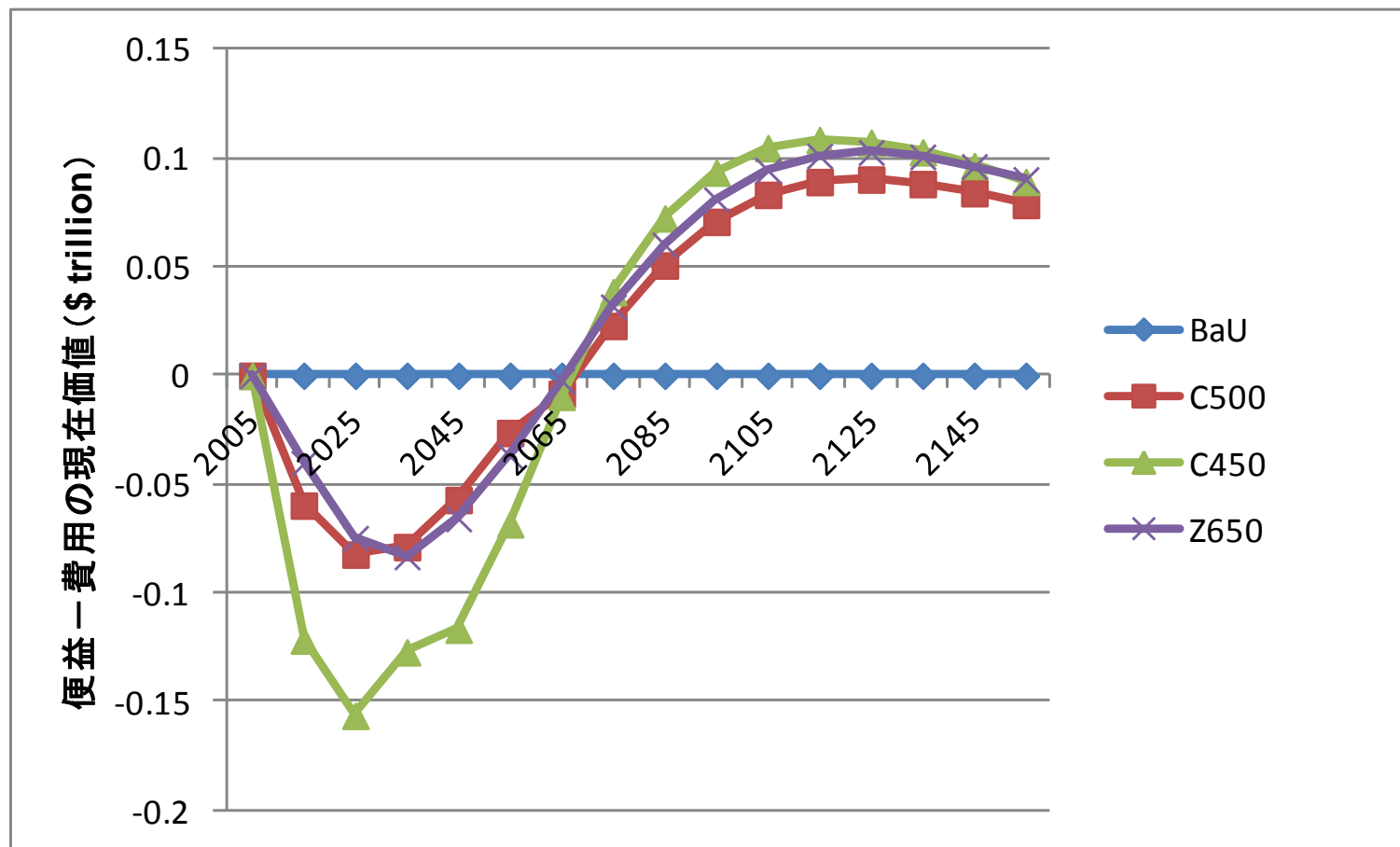
費用便益：削減費用（割引あり）

- 割引により現在価値に直すと、C450の削減費用はC500とZ650よりかなり大きくなる。



費用便益：便益－費用の各時点の値

- 21世紀前半は費用が先行して[便益－費用]はマイナスであるが、時間に伴い便益が上回りプラスの値になる。



費用便益：便益－費用の総和

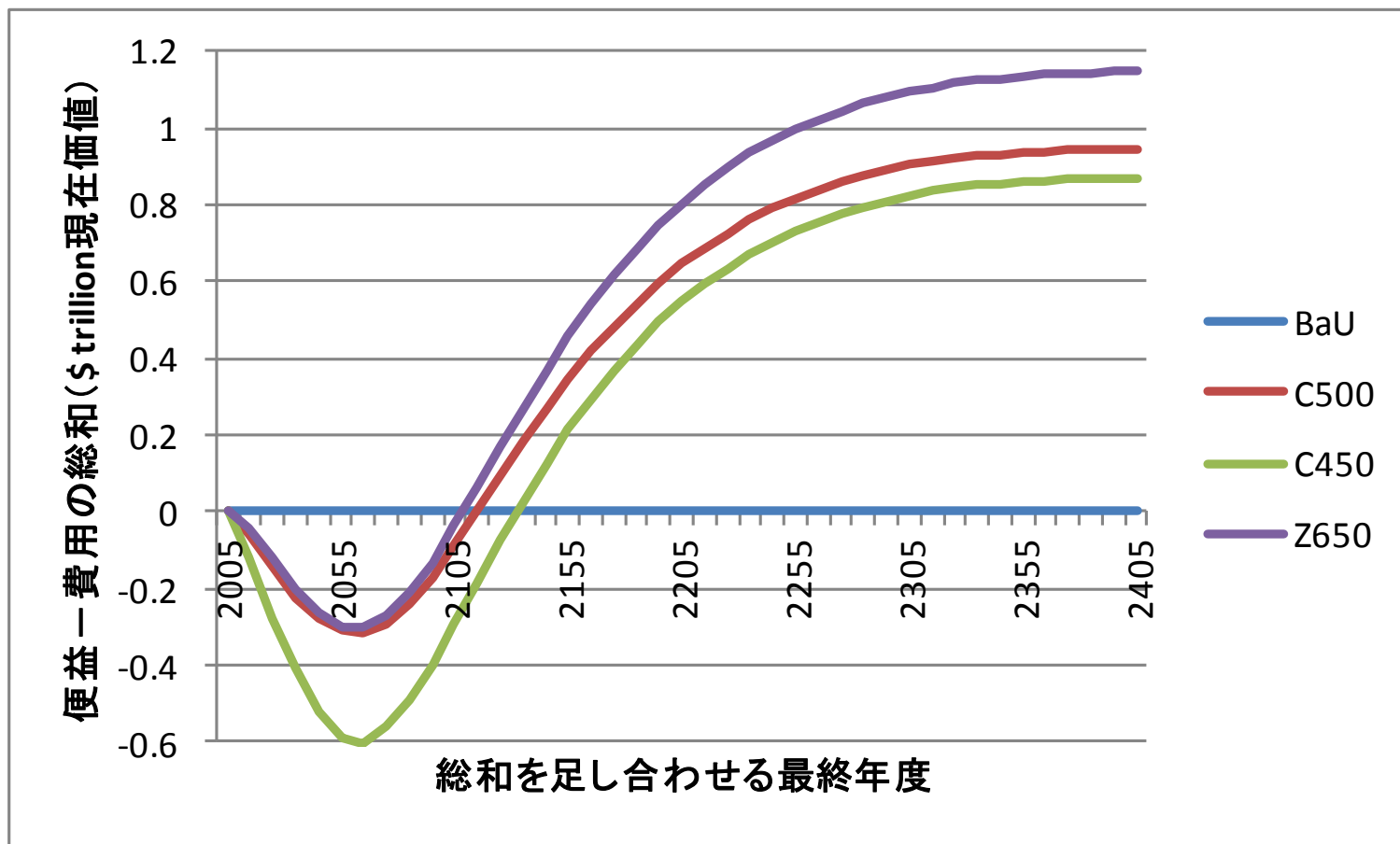
- 以上で求めた各シナリオの[便益－費用]の現在価値を累積的に足し合わせた
 - － この値が大きいほど政策として有利とみなせる
- 以下の表においては、Z650がほぼ全ての足し合わせで有利になっている

足し合わせる 年度	～2055	～2105	～2155	～2205	～2305
C500	-0.30	-0.08	0.35	0.65	0.90
C450	-0.59	-0.29	0.21	0.55	0.82
Z650	-0.30	-0.04	0.46	0.80	1.10

単位：\$ trillion（割引現在価値）

費用便益：便益－費用の総和（グラフ）

- 前ページに示した値を10年単位でグラフにした。やはりZ650が足し合わせ値のほぼ全部で有利になっている。



結果のまとめ

- DICEモデルにより、気候モデルで計算されたCO₂濃度と温度上昇を概ね再現出来た
 - 経済モデルに付属する簡易気候モデルの再現精度の問題は重要(排出パスに影響するため)
- Z650によるGDP減少(=対策費用)は、C500と同程度である
- 費用便益分析で各シナリオの優位性を評価すると、Z650 > C500 > C450の順となる
 - Z650は21世紀前半の対策費用が小さく、21世紀後半以降の被害低減効果が大きいため
 - C450は21世紀前半の対策費用が大きい

今後の作業予定

- 今回はDICEで計算したが、今後は多地域モデルのRICEも運用する
 - RICEとは「Regional dynamic Integrated model of Climate and the Economy」の略
- 多地域モデルのRICEにより、各シナリオにおける地域毎の政策効果を分析
 - 排出量、削減費用、気候ダメージなどを計算
 - 先進国と途上国におけるインパクトの違いを見る
- DICEとRICEを使い分け、Z650シナリオの政策効果を総合的に評価する