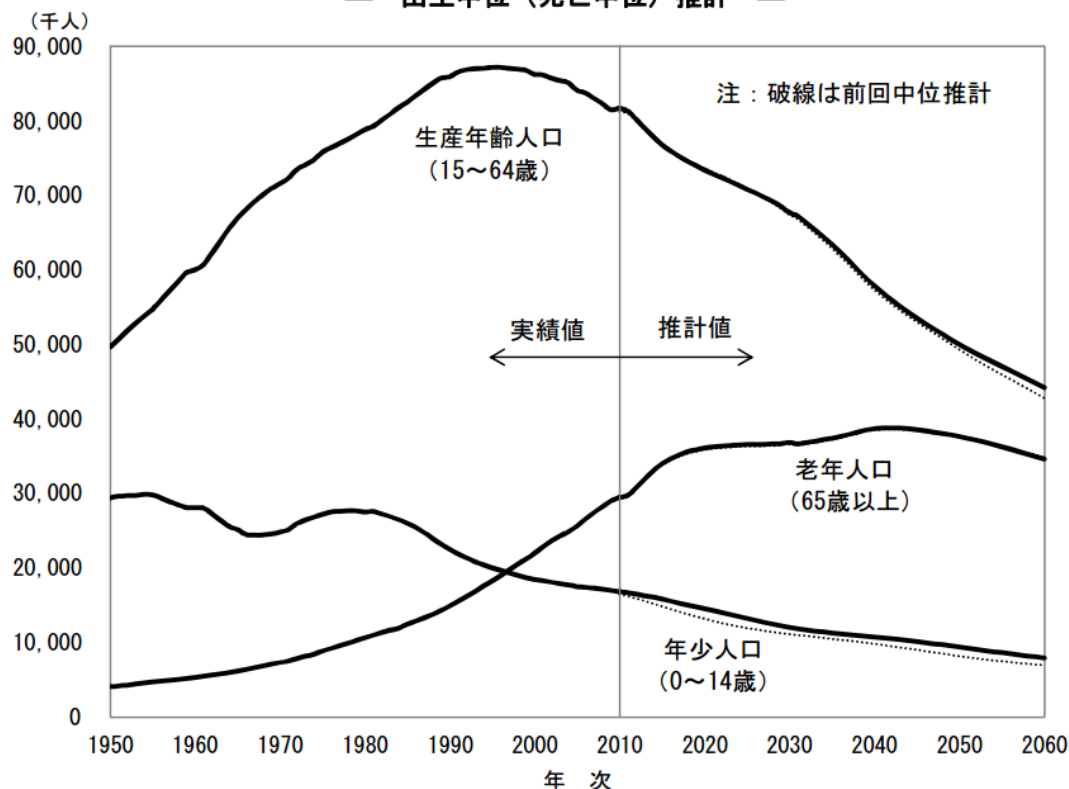

人口とインフラの年齢構成の変遷下における最適資本蓄積経路の分析

瀬木 俊輔

(京都大学, 計画マネジメント論研究室)

研究の背景 – 進む人口減少・高齢化

図1-3 年齢3区分別人口の推移
— 出生中位（死亡中位）推計 —

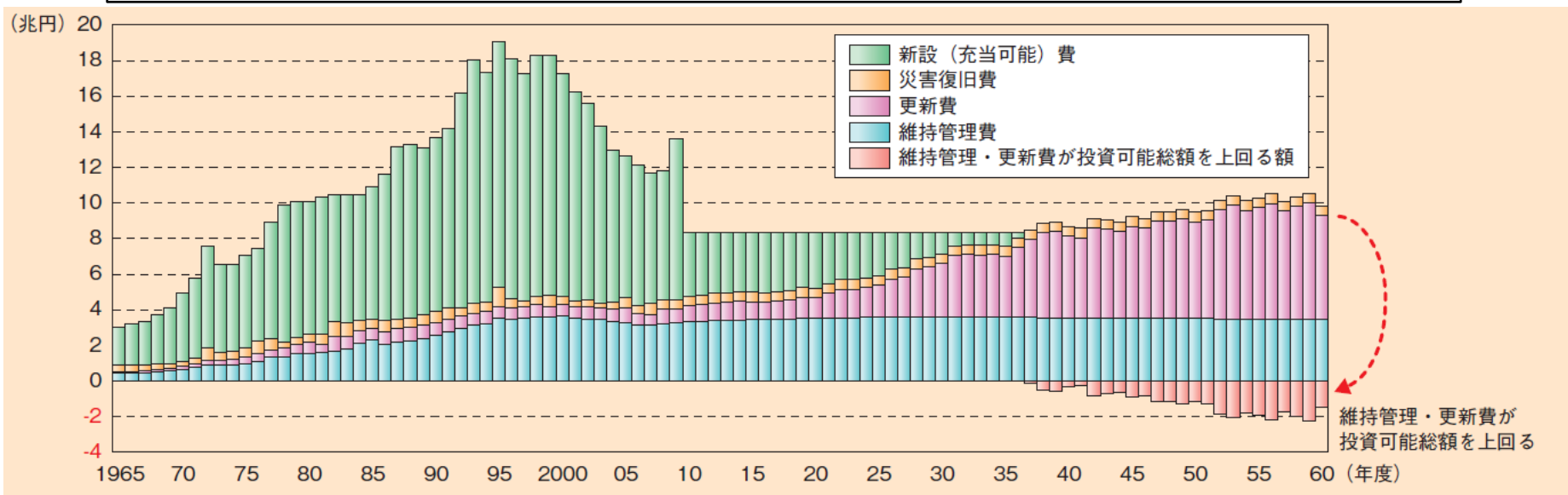


出典：国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」

65歳以上人口割合は23.0%（2010年）→39.9%（2060年）になるとの予想

研究の背景 – インフラの将来更新需要の増大

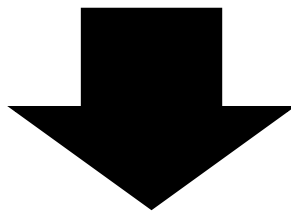
国土交通省所管の直轄・補助・地単事業関係費用の実績と将来推計



出典：国土交通省「平成23年度国土交通白書」

研究の問題意識と目的

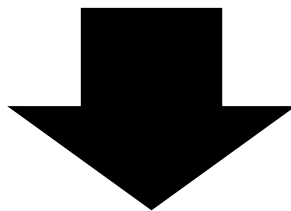
- 人口減少・高齢化の進行は、総労働力の減少と高齢者の総生活費用の増加に繋がる
 - インフラへの投資・更新に使える資金的余裕の減少
- その一方で、インフラの更新需要は今後増大していく



- 本研究では、このような前提条件下におけるインフラの投資・更新に関する政策的示唆を得ることを目的とする
 - 「人口とインフラの高齢化」がインフラの投資・更新戦略に及ぼす影響に着目した分析を行う

分析に用いる道具 – Ramseyモデル

- Ramsey, F. : A Mathematical Theory of Saving (1928)
 - “How much of its income should a nation save?”
 - この問いに答えるための動学的経済モデルを定式化
 - 世代間の公平性、長期的な国民の厚生を考慮



- 本研究では、Ramseyモデルを拡張し、人口とインフラの年齢構成の変遷を考慮可能にしたものを分析に利用

基本的なRamseyモデルの構造

生産活動の表現

$$Y_t = F(K_t, L)$$

- t: 年度
- F: 生産関数
- Y: 実質GDP(経済活動の結果、生み出される最終生産物の総量)
- K: 資本(機械・工場・ビル・トラック・インフラ等、生産に役立つモノ)の総量
- L: 総就業者数(年度によらず一定)

消費・投資活動の表現

$$C_t + I_t = Y_t$$

$$K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + I_t$$

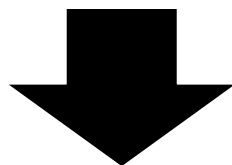
- C: 国民に消費されるモノ・サービスの総量
- I: 投資活動に使われるモノ・サービスの総量
- δK : 壊れたり機能低下する資本の総量

最適性を規定する社会厚生関数の設定

Case 1: $(C_0, C_1, C_2) = (10, 60, 110)$

Case 2: $(C_0, C_1, C_2) = (20, 50, 80)$

Case 3: $(C_0, C_1, C_2) = (30, 40, 50)$



- どのケースが最適なのかを客観的に決めることは不可能
- 最適性を規定する価値観をモデルのInputとして定める必要がある
- 社会厚生関数という関数により、この価値観を表現する

社会厚生関数: $W(C_0, C_1, C_2)$

最適化問題の定式化

$$\max_{\{C_0, C_1, C_2, \dots\}} W(C_0, C_1, C_2, \dots)$$

s.t.

$$Y_t = F(K_t, L) \quad (t = 0, 1, 2, \dots)$$

$$C_t + I_t = Y_t \quad (t = 0, 1, 2, \dots)$$

$$K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + I_t \quad (t = 0, 1, 2, \dots)$$

K_0 : given

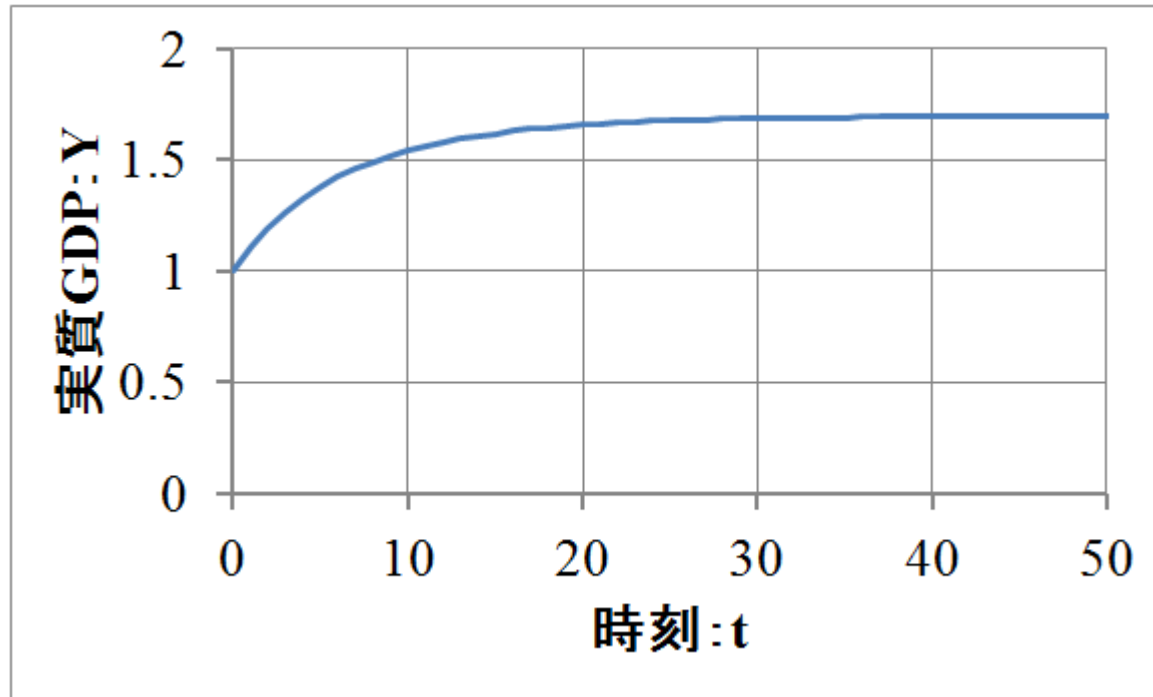
- この最適化問題を解くことにより、ある価値観から見て最適な投資水準を求めることができる

基本的なRamseyモデルの拡張の方向性

- 本研究では、基本的なRamseyモデルにいくつかの拡張を行う
 - ① 技術進歩を考慮
 - ② 総人口の変遷を考慮
 - ③ 総就業者数の変遷を考慮
 - ④ 資本を民間資本と社会資本に分類
 - ⑤ 社会資本の年齢構成の変遷を考慮
 - ⑥ 社会資本の維持管理費用を考慮
- その上で、拡張モデルを用いて数値計算により分析を行う
 - 分析の際、inputデータには現実の日本のデータに近いと考えられる数値を用いる

①技術進歩

基本的なRamseyモデルの出力結果(実質GDP)



- 経済の生産性を規定する生産関数が不変であるとき、最終的に経済成長は停止する

$$\text{生産関数} F: Y_t = F(K_t, L)$$

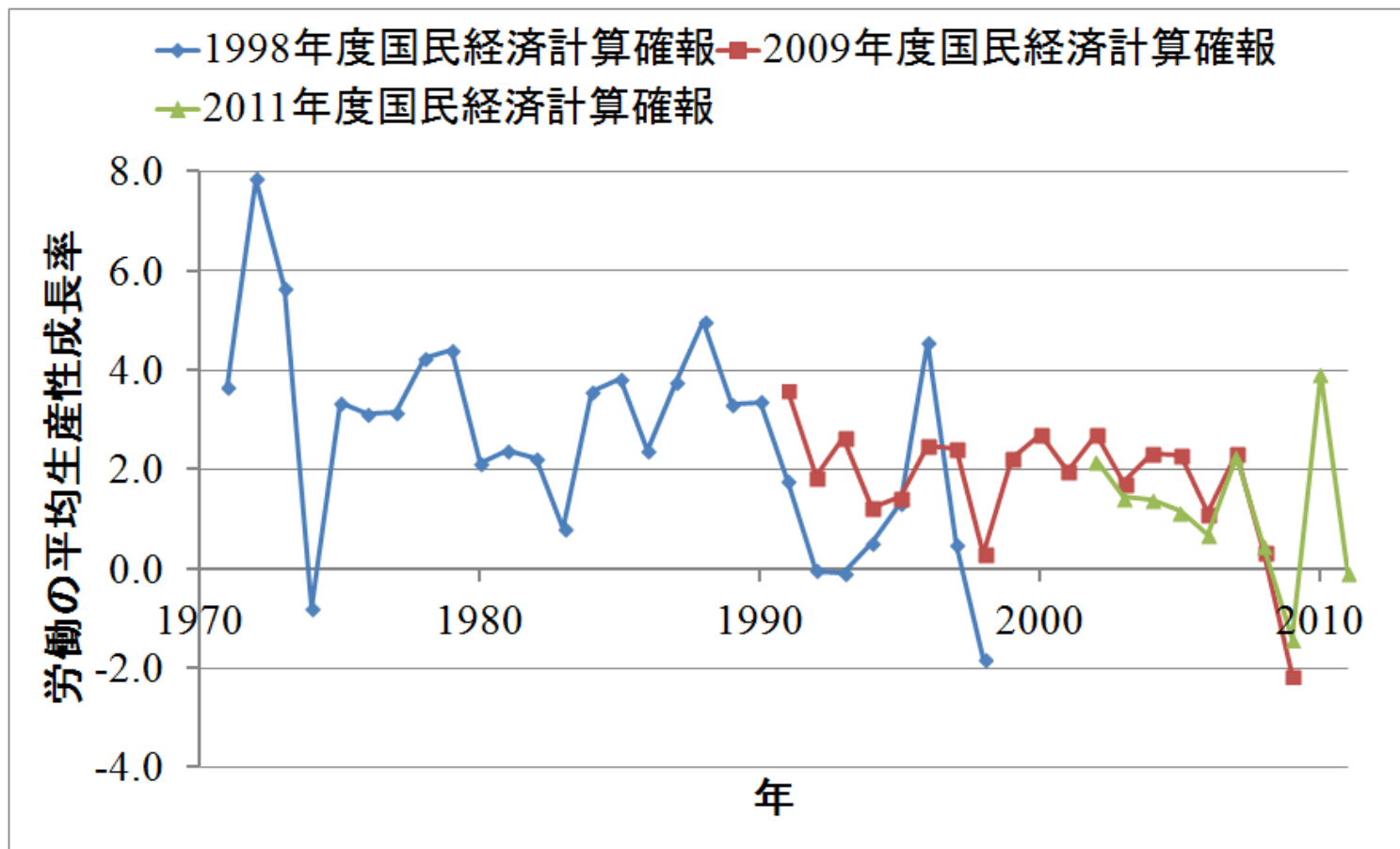
①技術進歩

- 技術水準を変数Aで表現し、Aが外生的に増加していくと仮定することにより技術進歩を表現

$$Y_t = F(K_t, L_t) \rightarrow Y_t = F(K_t, L_t, A_t)$$

- 経済学の理論によると、一定の条件が満たされるとき、「労働力1単位当たりの実質GDP(労働の平均生産性)」の成長率を見ることにより、Aの成長率を概算することができる

労働の平均生産性の成長率

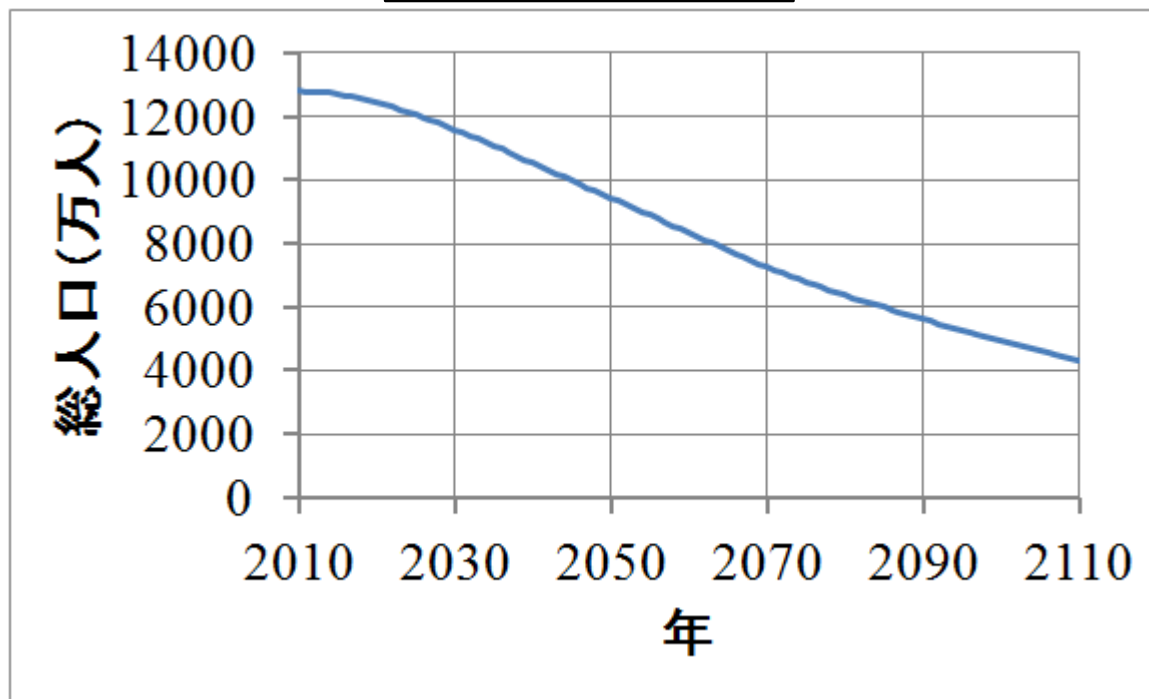


1998年度国民経済計算確報のグラフは、実質GDP÷就業者数
その他のグラフは、実質GDP÷就業者数÷労働時間

■ 近年はAが年率1~2%で成長していると考えられる

②総人口の変遷

総人口推計



2010年時点の出生率・生命表が維持されると仮定して計算
外国間との人口移動は無視
106歳以上の人口は無視

総人口の変遷を考慮した社会厚生関数

- 社会厚生関数を人口一人当たりの消費に基づき定義

$$W(C_{2010}, C_{2011}, C_{2012}, \dots) = \sum_{t=2010}^{\infty} \beta^{t-2010} N_t \frac{(C_t/N_t)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma}$$

N: 総人口, C: 総消費, β : パラメータ ($0 < \beta \leq 1$), σ : パラメータ ($0 \leq \sigma \leq \infty$)

- 世代間の消費の公平性を見るときは、
総消費ではなく一人当たりの消費で見る必要がある
- パラメータ β は国民・政府の近視眼性を表現
- パラメータ σ は世代間公平性の重視の程度を表現

総人口の変遷を考慮した社会厚生関数

$$\sum_{t=2010}^{\infty} \beta^{t-2010} N_t \frac{(C_t/N_t)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} = \begin{cases} \sum_{t=2010}^{\infty} \beta^{t-2010} C_t & (\sigma = 0) \\ \sum_{t=2010}^{\infty} \beta^{t-2010} N_t \ln\left(\frac{C_t}{N_t}\right) & (\sigma = 1) \\ \min\left[\frac{C_{2010}}{N_{2010}}, \frac{C_{2011}}{N_{2011}}, \frac{C_{2012}}{N_{2012}}, \dots\right] & (\sigma = \infty) \end{cases}$$

$$\beta = 1, N_0 = 3, N_1 = 2, N_2 = 1$$

$$\text{Case 1: } (C_0, C_1, C_2) = (0, 0, 1000), (C_0/N_0, C_1/N_1, C_2/N_2) = (0, 0, 1000)$$

$$\text{Case 2: } (C_0, C_1, C_2) = (300, 300, 300), (C_0/N_0, C_1/N_1, C_2/N_2) = (100, 150, 300)$$

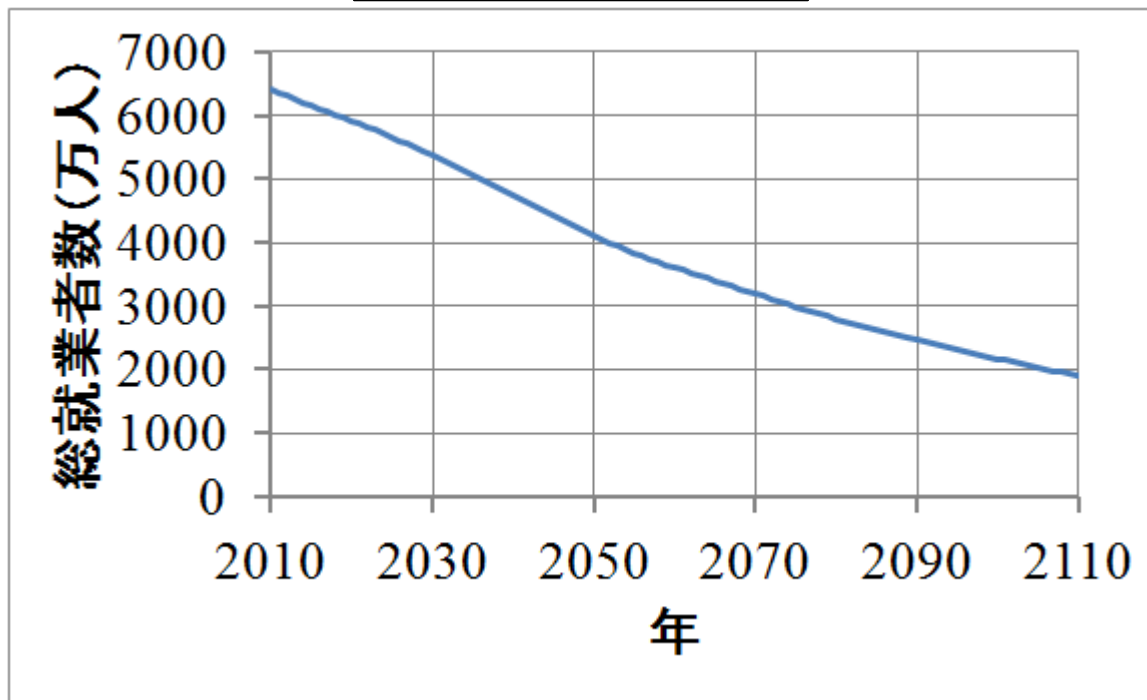
$$\text{Case 3: } (C_0, C_1, C_2) = (303, 202, 101), (C_0/N_0, C_1/N_1, C_2/N_2) = (101, 101, 101)$$

$\sigma = 0$ ならCase 1が最適、 $\sigma = \infty$ ならCase 3が最適

■ 本研究では、 $\beta = 0.97$, $\sigma = 1$ を採用する

③ 総就業者数の変遷

総就業者数推計

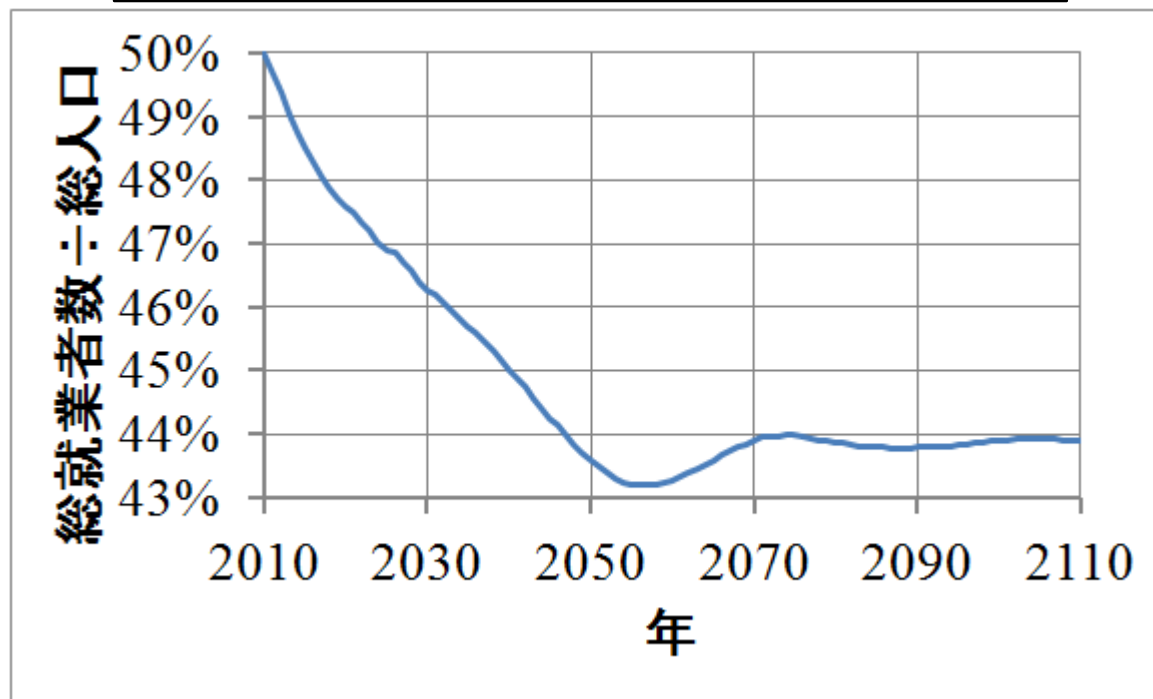


2010年時点の男女別・年齢別の労働力人口比率を用いて労働力人口を計算
失業率は常に3.5%であると仮定して就業者数を計算

■ 総就業者数Lの低下は生産性を低下させる→ $Y_t = F(K_t, L_t, A_t)$

総就業者数・総人口変遷の影響

総人口に占める総就業者数の割合推計



- 総人口に占める総就業者数の割合 L/N が低下すると、人口一人当たり消費 C/N を低下させる圧力が働く

④資本の分類

- 資本を民間資本 K^p と社会資本 K^g に分類する

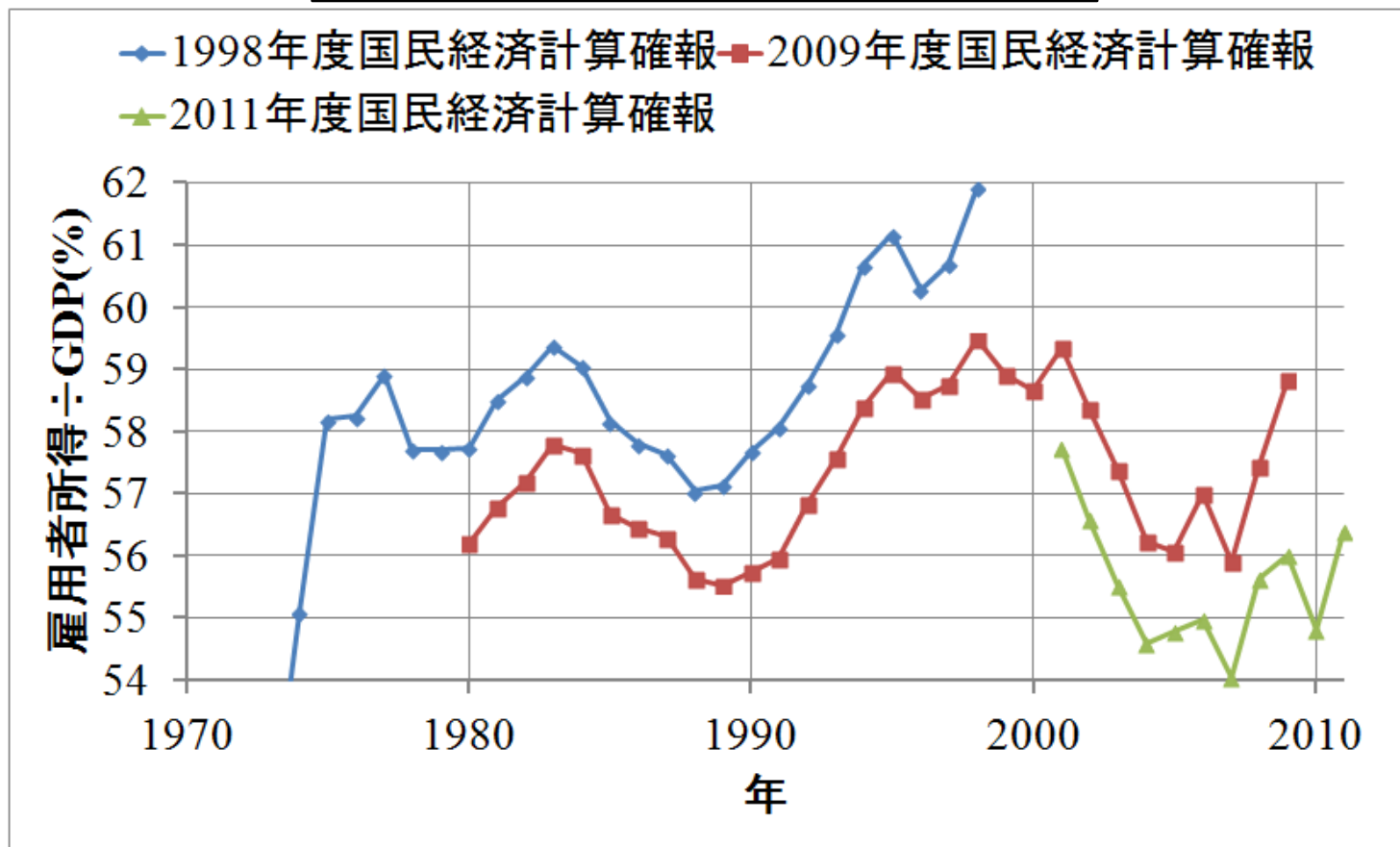
$$Y_t = F(K_t, L_t, A_t) \rightarrow Y_t = F(K_t^p, K_t^g, L_t, A_t) = B(K_t^p)^{\alpha^p} (K_t^g)^{\alpha^g} (A_t L_t)^{\alpha^l}$$

K^p : 民間資本ストック, K^g : 社会資本ストック, A : 技術水準, L : 総就業者数,
 $B, \alpha^p, \alpha^g, \alpha^l$: パラメータ

- 経済学の理論によると、 α^l の値は「就業者に支払われる報酬総額÷GDP」に等しい
- α^p, α^g の値はOLS等で推定する他無い
- パラメータ B は就業者の労働時間を1850時間として計算（実際の2010年の労働時間は1781時間）

労働力の弾力性

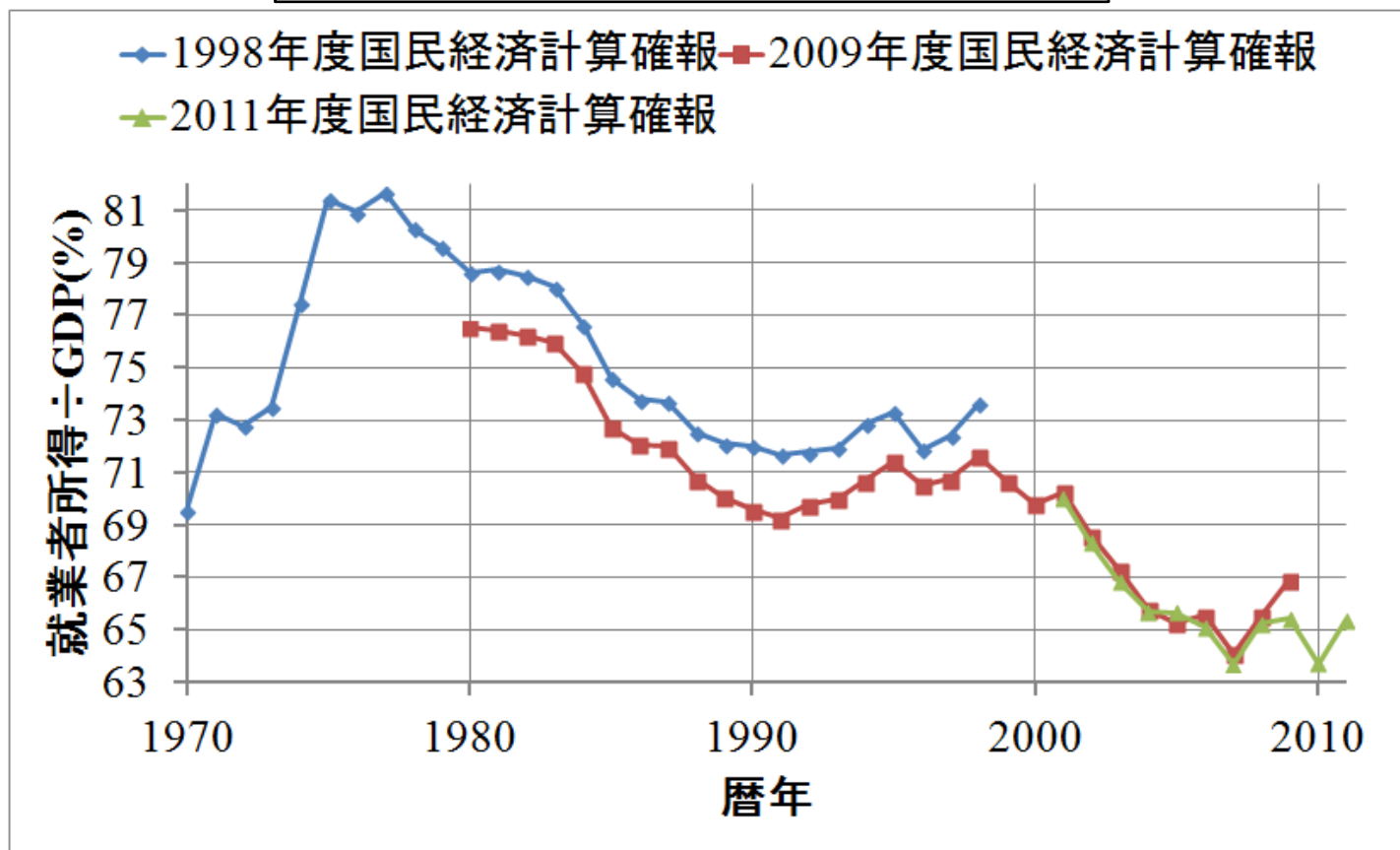
雇用者所得のGDPに占める比率



分母には「GDP - 間接税総額」を使用

労働力の弾力性

就業者所得のGDPに占める比率



自営業者の平均所得＝雇用者の平均所得と仮定して計算

■ 本研究では、 $\alpha^l = 0.65$ とする

民間資本・社会資本の弾力性

既往研究における推定値の例

研究	α^p	α^g	α^l	$\alpha^p + \alpha^g + \alpha^l$
浅子・坂本(1993)	0.078	0.162	0.909	1.149
岩本・大内・竹下・別所(1996)	0.25	0.18	0.43	0.86
大河原(2000)	0.284	0.159	0.848	1.291
塚井・江尻・奥村・小林(2002)	0.383	0.059	0.617	---
遠藤(2002)	0.381	0.097	0.617	1.095
唐木・奥原・渡真利・朝日・西畑(2006)	0.239	0.013	0.78	1.032
川出(2010)	0.151	0.0214	0.619	0.7914

■ 正確な値の推計は困難

➤ 本研究では仮の数値として、

$$\alpha^p = 0.25, \alpha^g = 0.10, \alpha^p + \alpha^g + \alpha^l = 1.0 \text{とする}$$

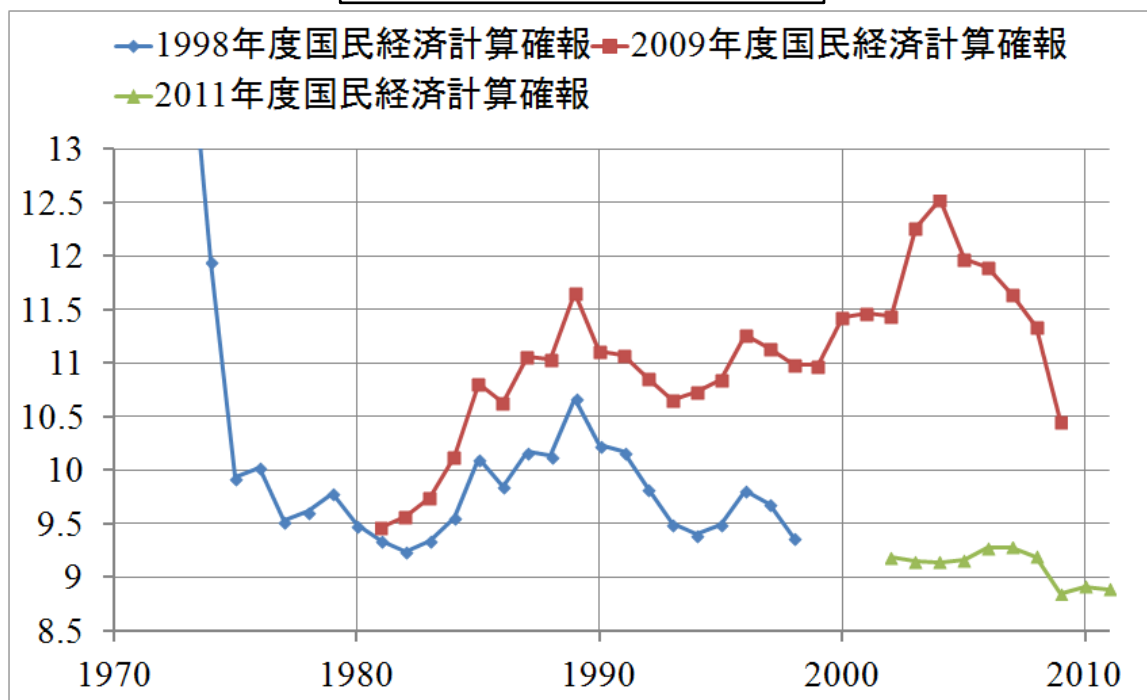
民間資本の蓄積方程式

- 民間資本 K^P については、基本的なRamseyモデルと同様に幾何学的減耗(減耗率10%)を仮定

$$K_{t+1}^P = (1 - 0.10)K_t^P + I_t^P$$

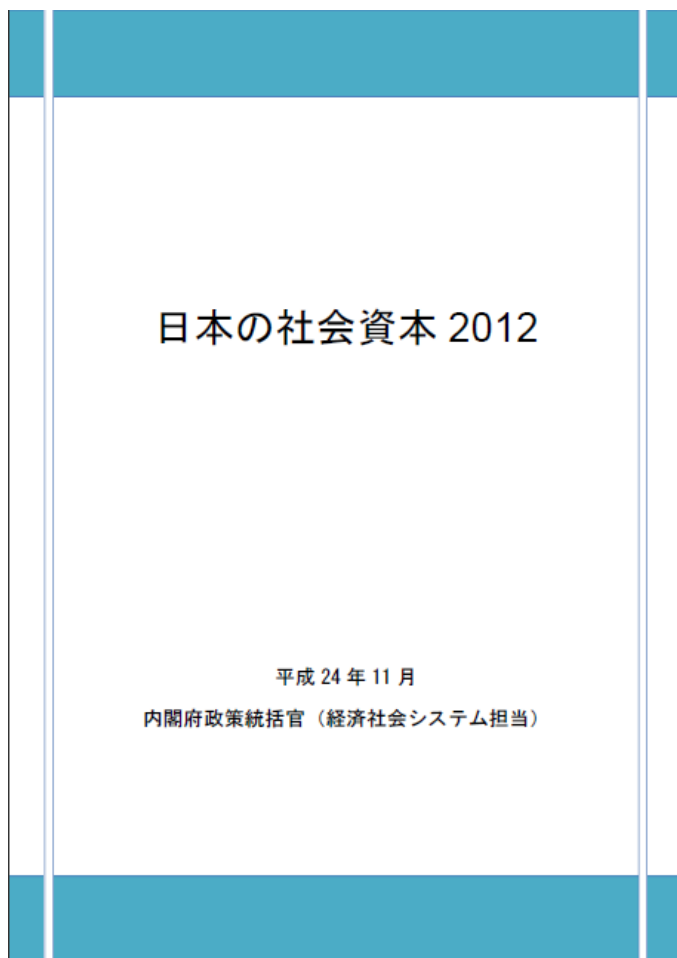
K^P : 民間資本ストック, I^P : 民間投資

民間資本減耗率



⑤社会資本の年齢構成の変遷

- 社会資本K_sの蓄積方程式については、内閣府「日本の社会資本2012」に準拠



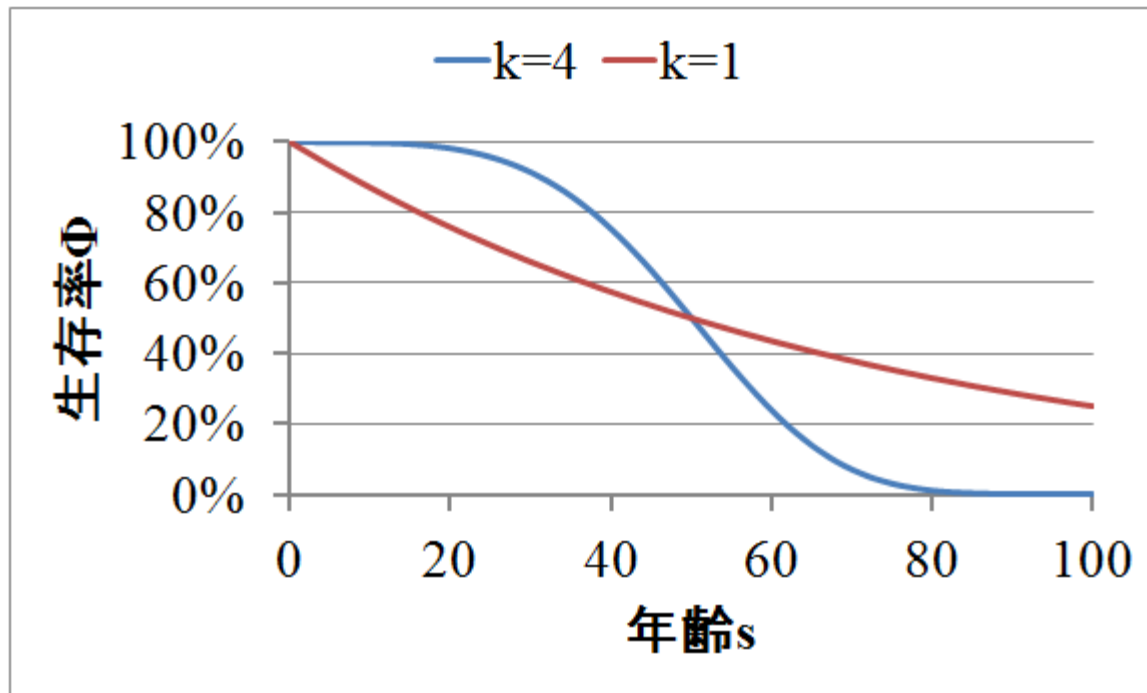
- 17分野を対象に2009年度末までの社会資本ストックを推計
- 分野一覧：道路、港湾、航空、鉄道、公共賃貸住宅、下水道、廃棄物処理、水道、都市公園、文教施設、治水、治山、海岸、農林漁業、郵便、国有林、工業用水道

⑤社会資本の年齢構成の変遷

- 「日本の社会資本2012」では、社会資本ストックはワイブル分布(形状パラメータ $k = 4$)に従い除却されると仮定

$$\Phi(s) = \exp\left(-\left(\frac{s}{\lambda}\right)^k\right)$$

$\Phi(s)$: 建設(又は更新)から s 年経過後の社会資本の生存率,
 k : 形状パラメータ, λ : スケールパラメータ



社会資本の平均耐用年数

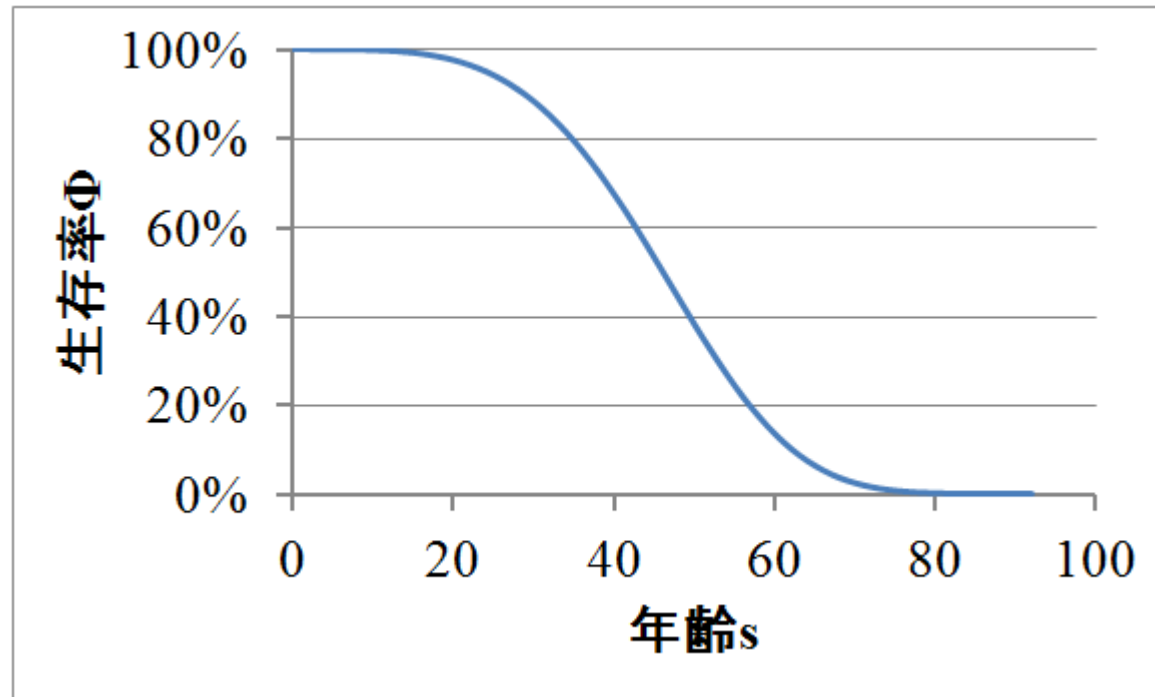
	部門	平均耐用年数	2009年度末の 粗資本ストックに占める比率(%)
1	道路	50	32.3
2	港湾	47	3.9
3	航空	16	0.5
4.1	鉄道建設・ 運輸施設整備支援機構等	26	0.8
4.2	地下鉄等	33	1.3
5	公共賃貸住宅	62	6.0
6	下水道	45	10.4
7	廃棄物処理	23	1.9
8	水道	35	5.7
9	都市公園	28	1.3
10.1	文教施設 (学校施設・学術施設)	45	9.2
10.2	文教施設(社会教育施設・ 社会体育施設・文化施設)	45	2.2
11	治水	48	8.3
12	治山	44	1.6
13	海岸	50	0.9
14.1	農林漁業(農業)	42	9.4
14.2	農林漁業(林業)	40	1.6
14.3	農林漁業(漁業)	50	1.7
15	郵便	18	0.1
16	国有林	33	0.6
17	工業用水道	37	0.3

出典:内閣府「日本の社会資本2012」

- 本研究では、社会資本の平均耐用年数を46年に設定

社会資本の平均耐用年数

仮定する生存率のグラフ



- 平均耐用年数46年時に生存率が50%になるように設定
- 92歳で100%除却されると仮定

社会資本の蓄積方程式

0歳の社会資本ストックは
前年度の投資水準

$$k_{0,t+1}^g = I_t^g$$

歳を重ねるごとに一部が除却

$$k_{s+1,t+1}^g = \frac{\Phi(s+1)}{\Phi(s)} k_{s,t}^g \quad (0 \leq s < 91)$$

社会資本は年齢によらず
生産に同じ貢献をする

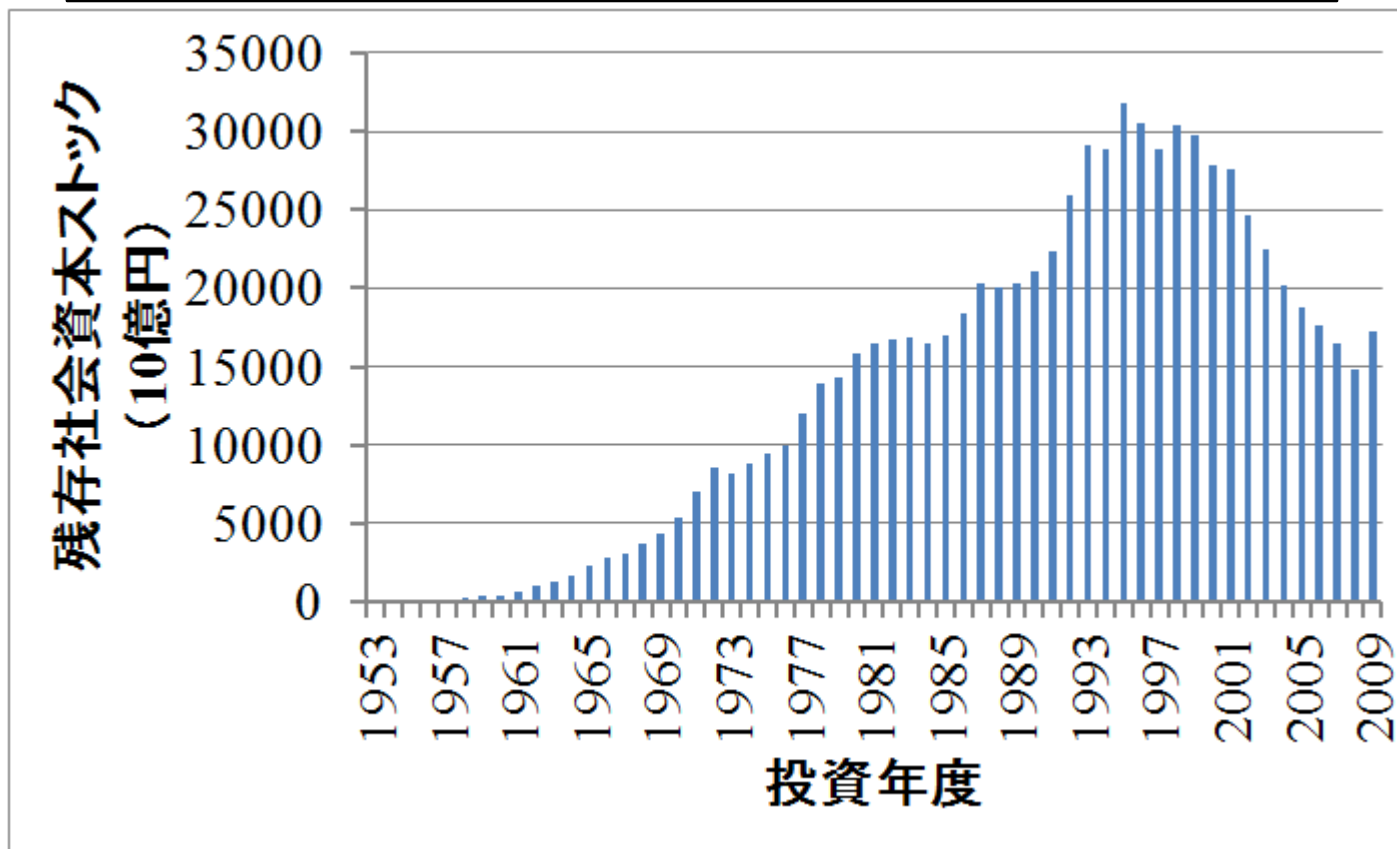
$$K_t^g = \sum_{s=0}^{91} k_{s,t}^g$$

$$Y_t = B(K_t^p)^{\alpha^p} (K_t^g)^{\alpha^g} (A_t L_t)^{\alpha^l}$$

k_s^g : s歳の社会資本ストック, I_t^g : 社会資本の新設・機能向上・更新額,
 K_t^g : 社会資本ストック

2010年度期首における社会資本の年齢構成

2010年期首における投資年度別残存社会資本ストック



出典:内閣府「日本の社会資本2012」

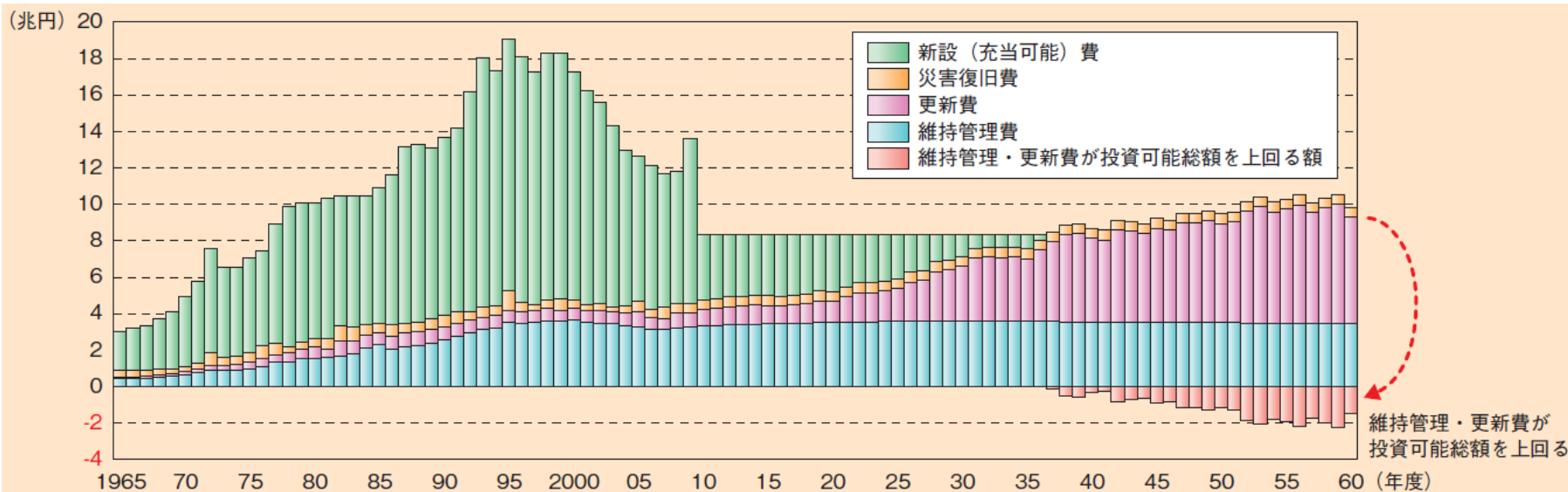
- 現在の社会資本ストックの年齢構成は、若い年代に偏っている

⑥ 社会資本の維持管理費用

- 社会資本の維持管理費用については、年齢によらず社会資本ストックの1%分の費用が毎年発生すると仮定

$$\text{Total Maintenance Cost}_t = 0.01K_t^g = 0.01 \sum_{s=0}^{\bar{s}} k_{s,t}^g$$

国土交通省所管の直轄・補助・地単事業関係費用の実績と将来推計



出典: 国土交通省「平成23年度国土交通白書」

最適化問題の定式化

$$\max_{\{C_{2010}, C_{2011}, C_{2012}, \dots\}} W(C_{2010}, C_{2011}, C_{2012}, \dots) = \sum_{t=2010}^{\infty} 0.97^{t-2010} N_t \ln\left(\frac{C_t}{N_t}\right)$$

s.t.

$$Y_t = F(K_t^p, K_t^g, L_t, A_t) = B(K_t^p)^{0.25} (K_t^g)^{0.1} (A_t L_t)^{0.65}$$

$$C_t + I_t^p + I_t^g + 0.01K_t^g = Y_t$$

$$K_t^g = \sum_{s=0}^{91} k_{s,t}^g$$

$$K_{t+1}^p = (1 - 0.1)K_t^p + I_t^p$$

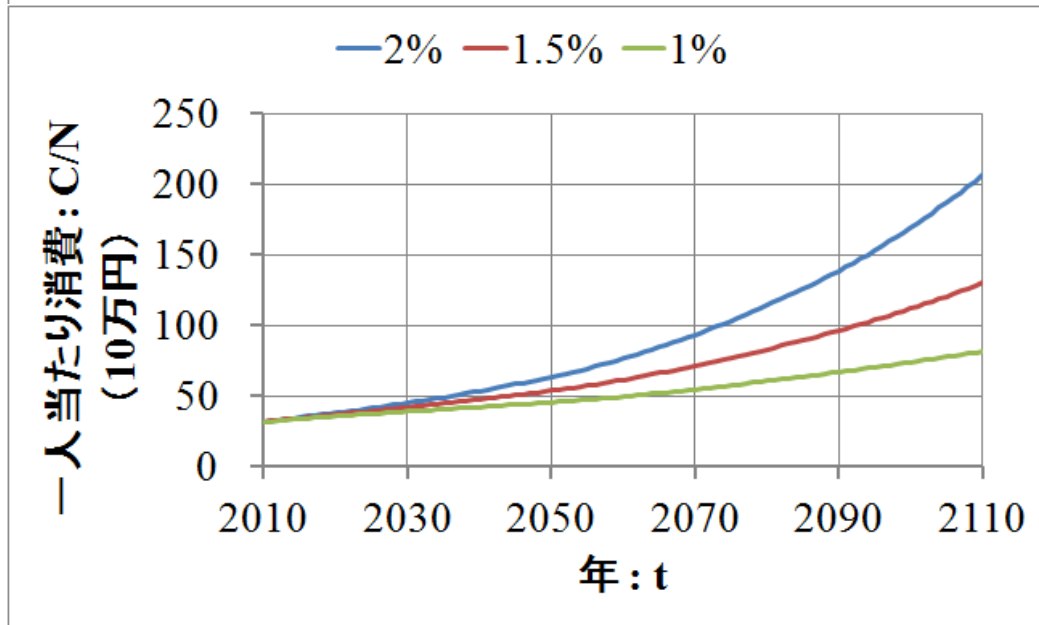
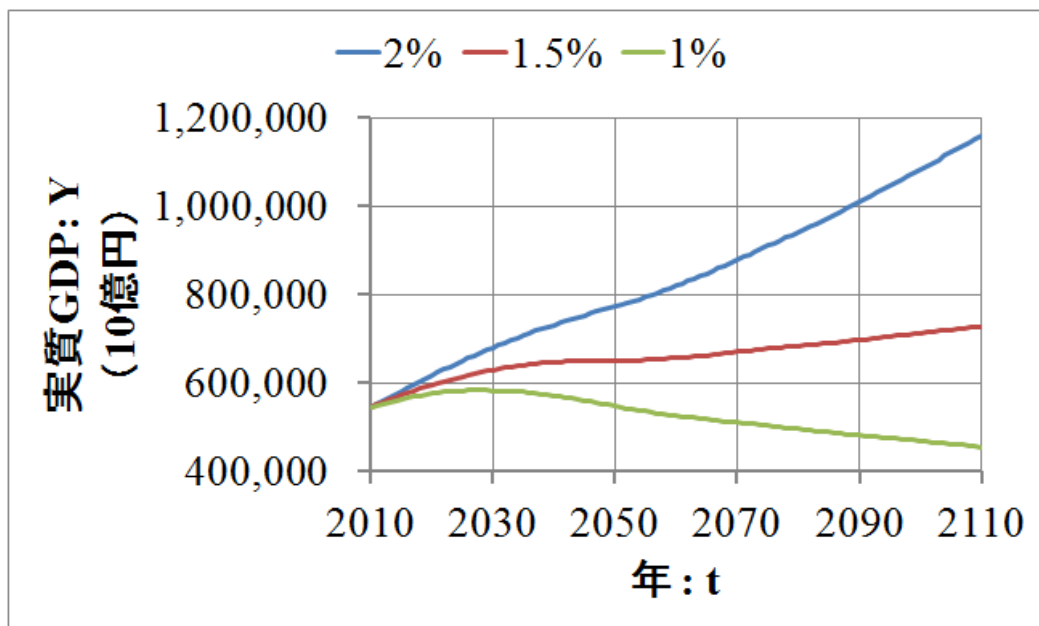
$$k_{0,t+1}^g = I_t^g$$

$$k_{s+1,t+1}^g = \frac{\Phi(s+1)}{\Phi(s)} k_{s,t}^g \quad (0 \leq s < 91)$$

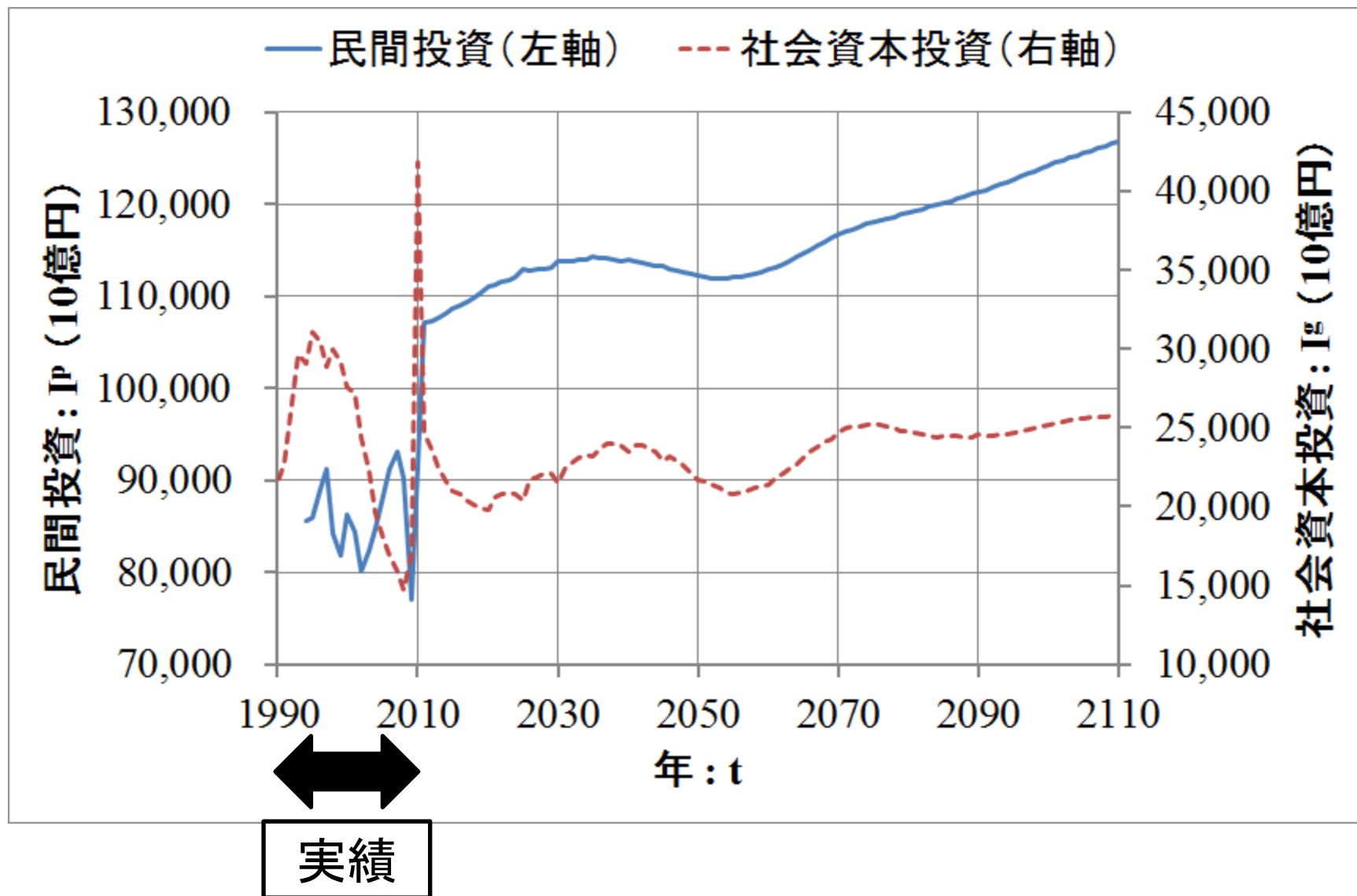
$$K_{2010}^p, k_{0,2010}^g, k_{1,2010}^g, k_{2,2010}^g, \dots, k_{91,2010}^g : \text{given}$$

N: 総人口, C: 総消費, Y: 実質GDP, K^p: 民間資本ストック, K^g: 社会資本ストック,
A: 技術水準, L: 総就業者数, I^p: 民間投資, I^g: 社会資本の新設・機能向上・更新額,
k^g_s: s歳の社会資本ストック, Φ(s): s歳の社会資本の生存率

技術進歩率の設定と出力結果の関係



技術進歩率1.5%の下での投資水準の推移



新設投資と更新投資の区別

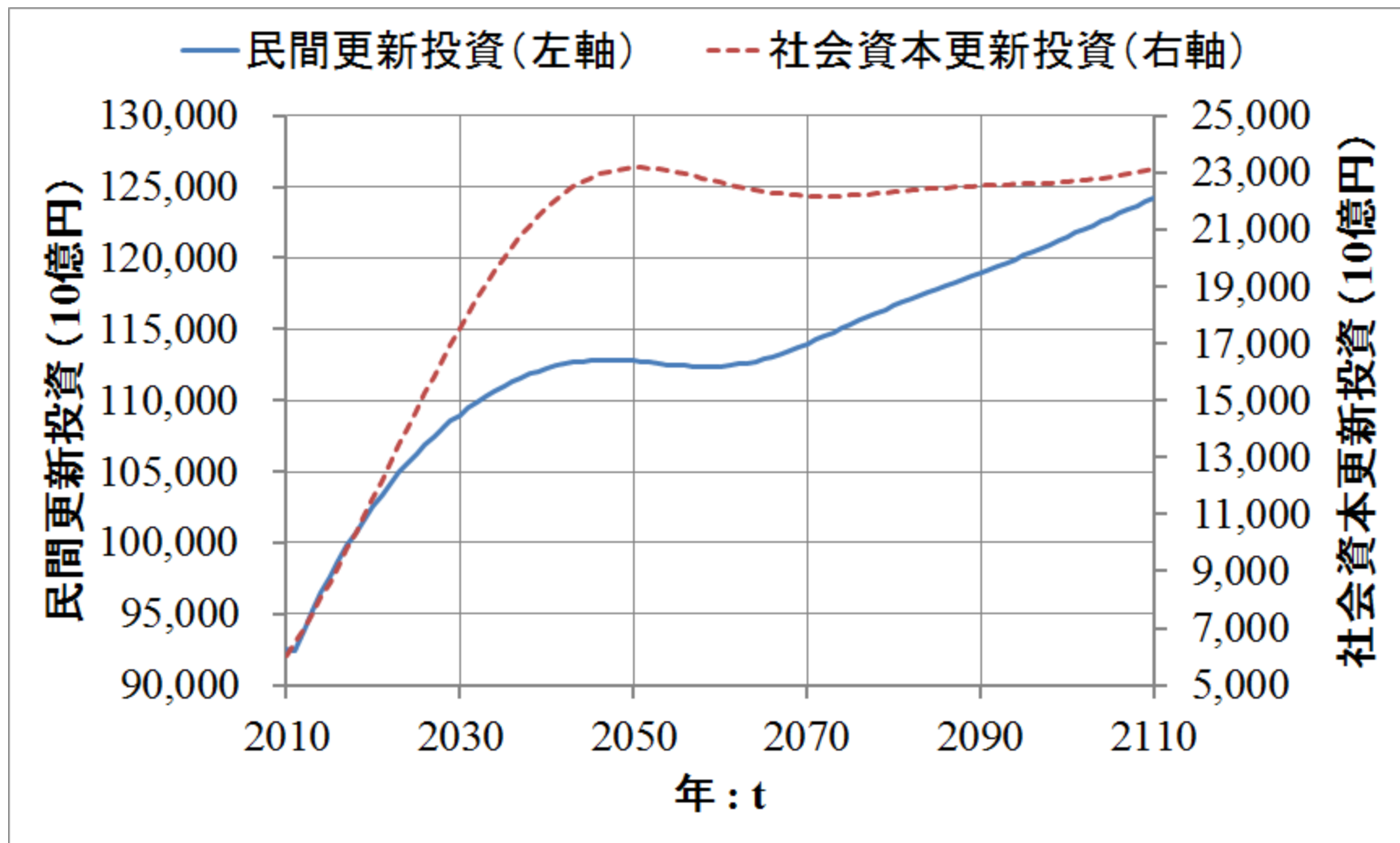
- 新設投資と更新投資を便宜的に次のように区別する

$$\text{更新投資}_t = \text{資本除却額}_t$$

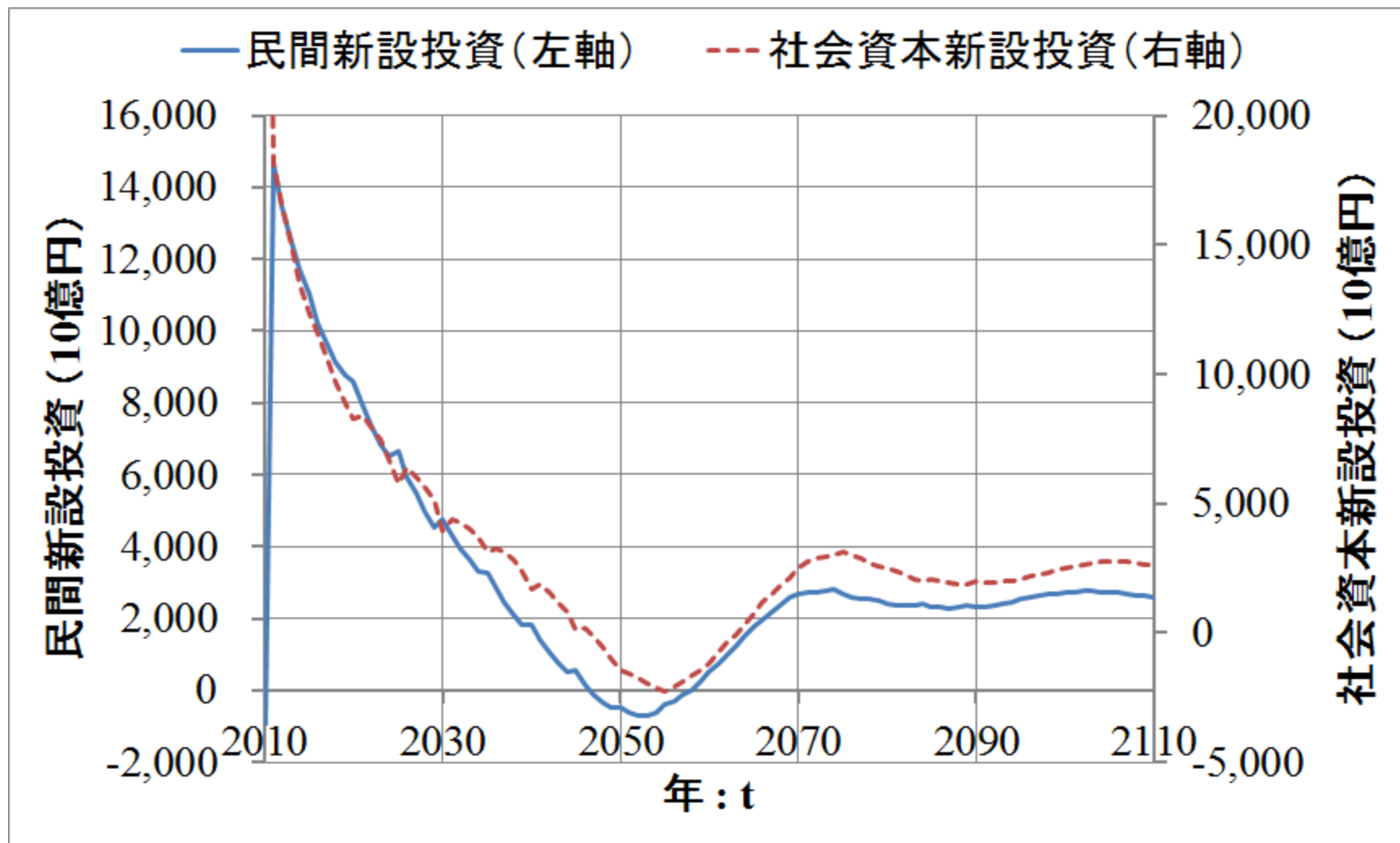
$$\text{新設投資}_t = \text{総投資}_t - \text{更新投資}_t$$

$$\text{更新投資}_t + \text{新設投資}_t = \text{総投資}_t$$

技術進歩率1.5%の下での更新投資の推移

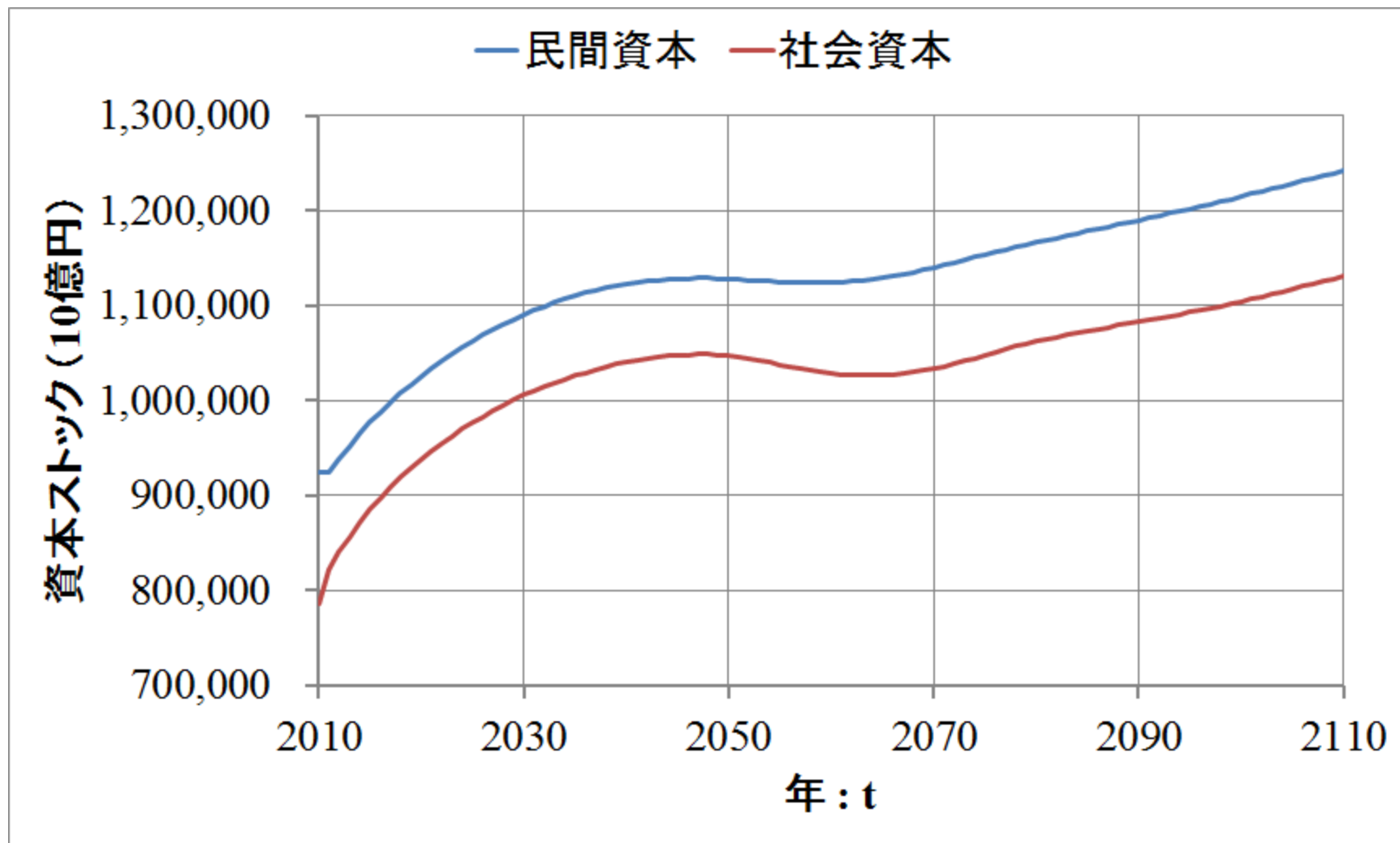


技術進歩率1.5%の下での新設投資の推移



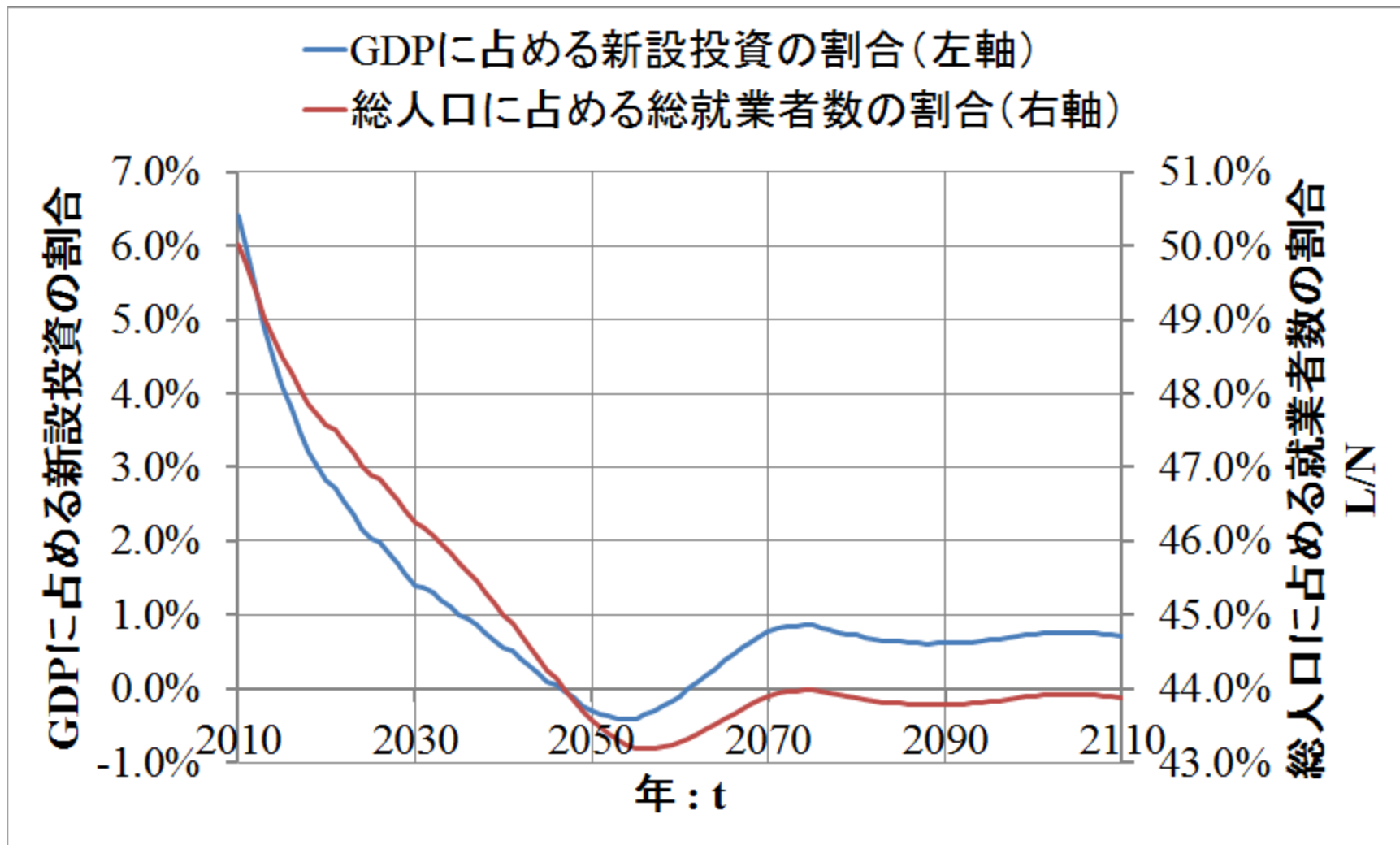
- 2010～2040年にかけて多額の新設投資が行われている

技術進歩率1.5%の下での資本ストックの推移



■ 2010～2040年にかけて資本が急速に蓄積している

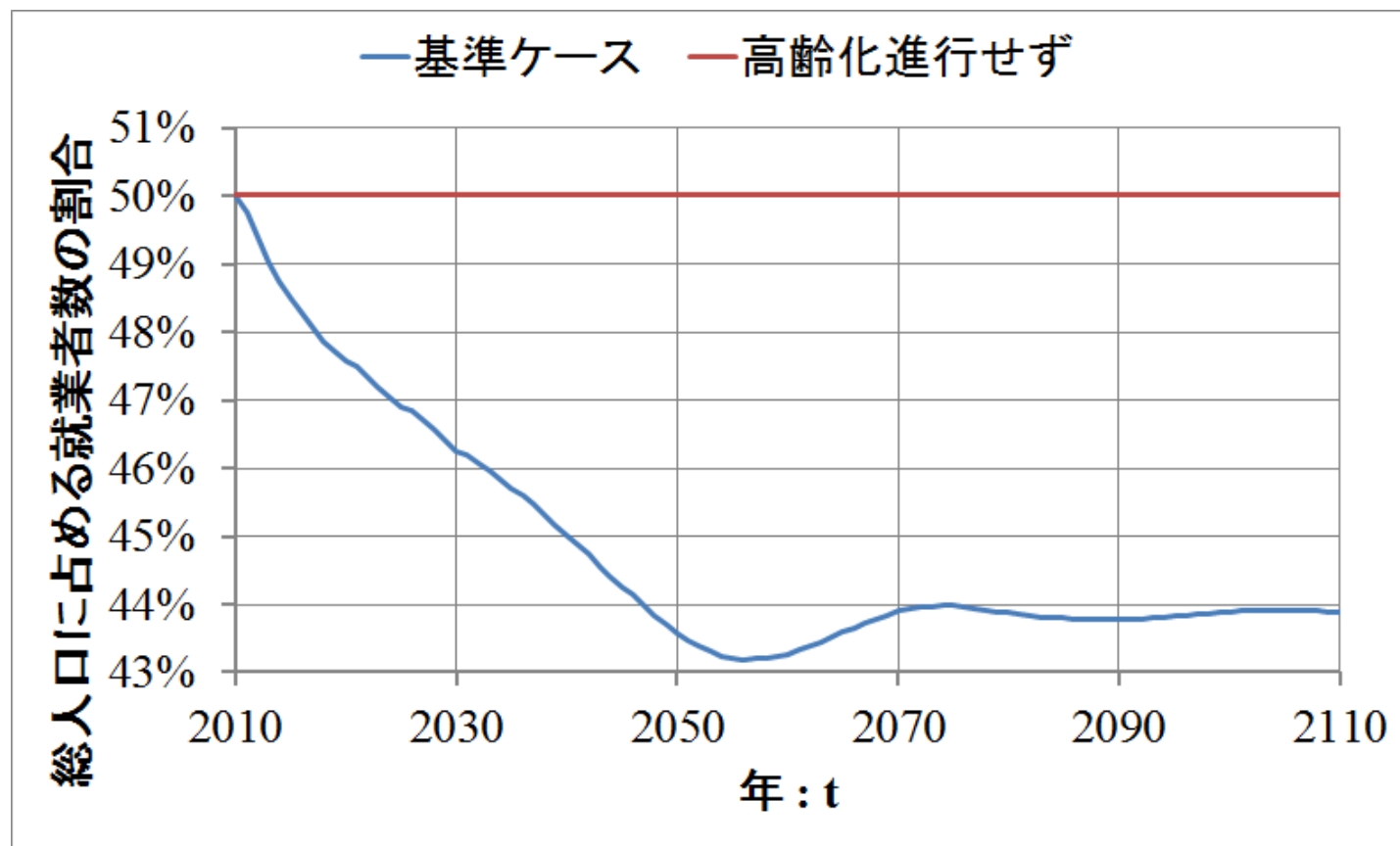
高齢化と新設投資の関係



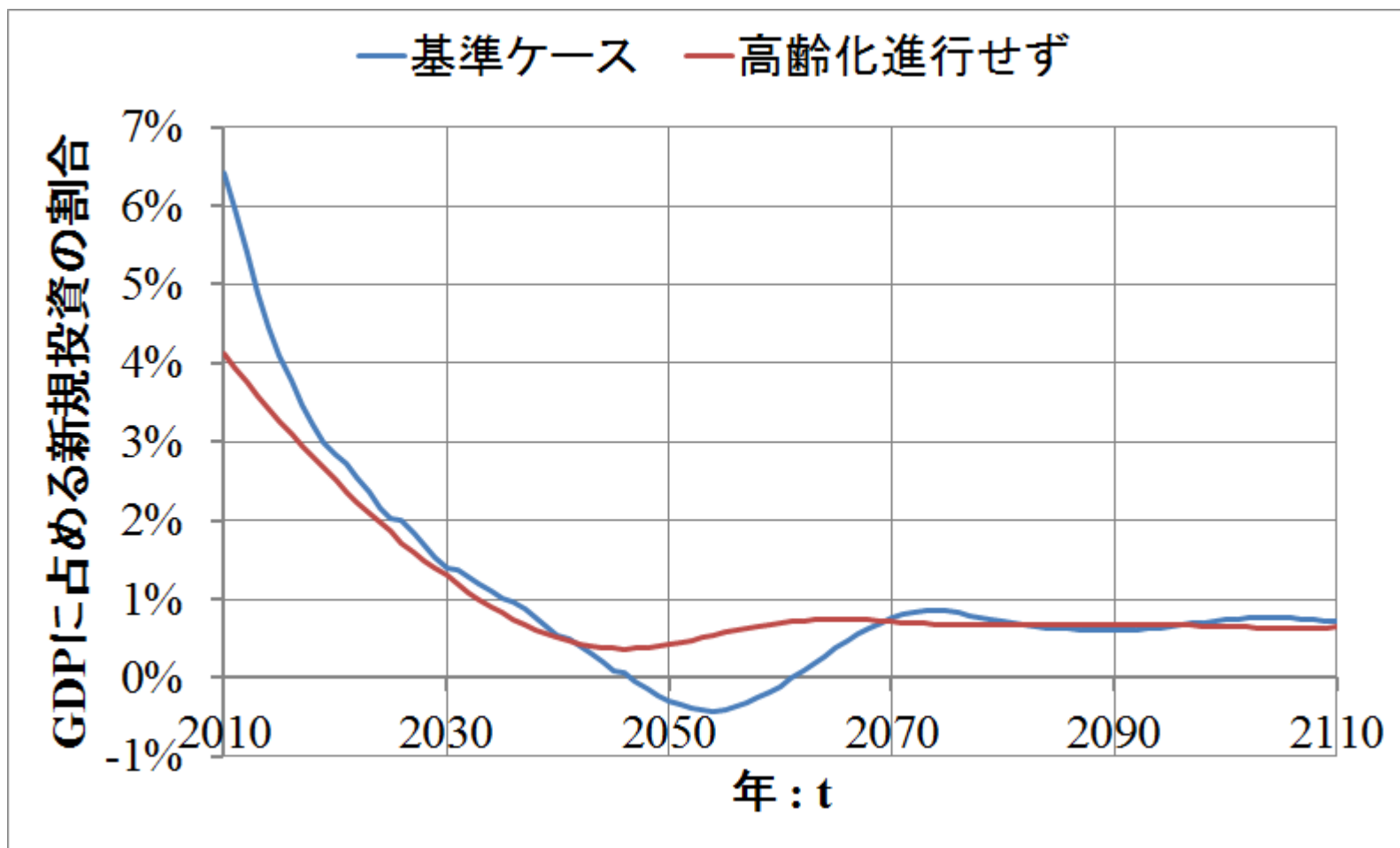
■ 高齢化の進行する局面で新設投資に労力が割かれている

人口減少と新設投資の関係

- 技術進歩率1.5%のケースを「基準ケース」と定義する
- 就業者数の推移は基準ケースと同じだが、総人口に占める就業者数の割合は一定のケースを考えて比較を実施

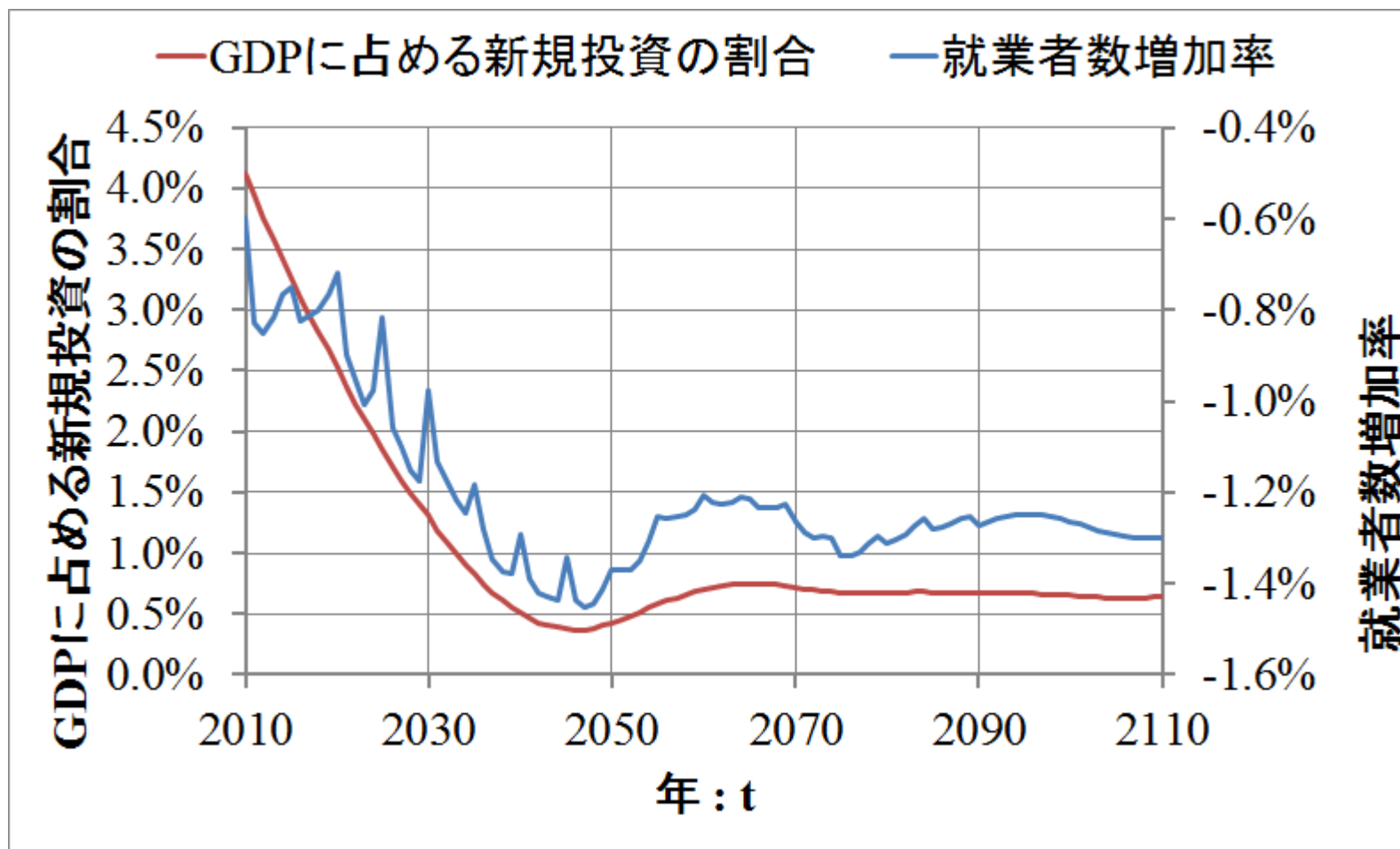


人口減少と新設投資の関係



- 高齢化が進行しない場合も2010年～2040年にかけて新設投資に労力が割かれている

人口減少と新設投資の関係



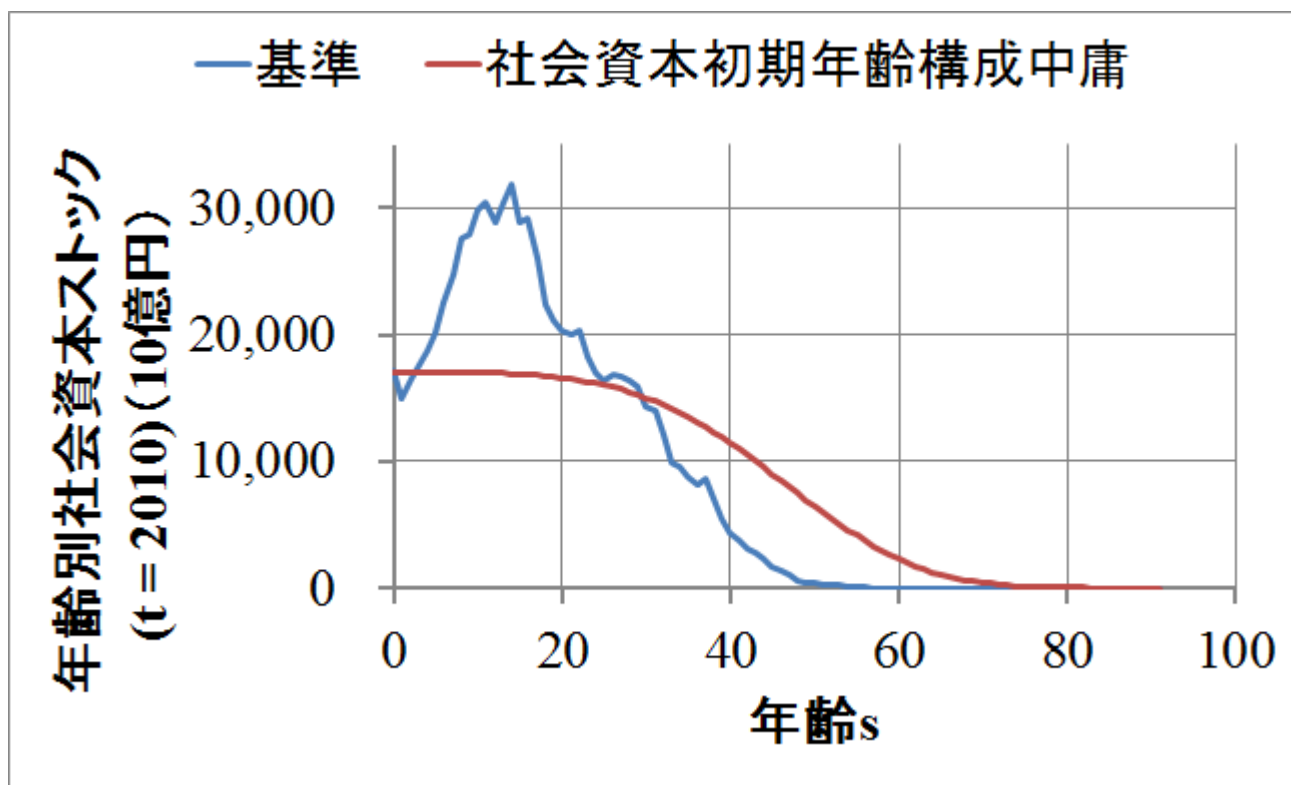
- 就業者数の増加率が高い局面ほど、新設投資に労力が割かれている

人口動態と新規投資に関する分析結果

- 就業者数の増加率が高い局面ほど、GDPに占める新設投資の割合を高くするのが最適である
- 高齢化が進行する局面では、GDPに占める新設投資の割合を高くするのが最適である
- 2010年～2040年にかけては、就業者数の減少率が緩やかであり、かつ、高齢化の進行も速いために、GDPに占める新設投資の割合を高く保つのが最適となった

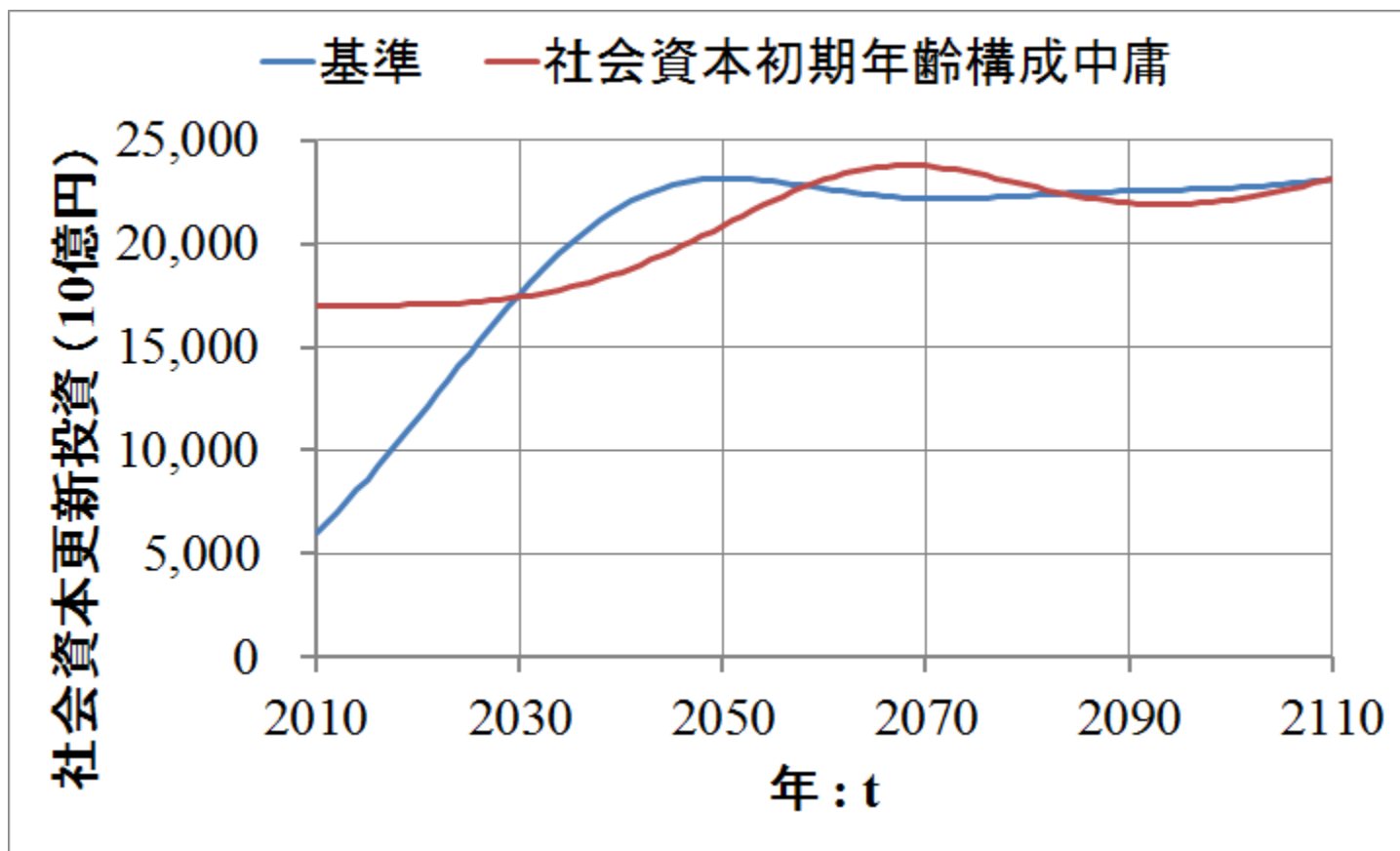
初期時点における社会資本の年齢構成の影響

- 技術進歩率1.5%のケースを基準ケースとする
- 2010年期首の社会資本ストックが基準ケースと同じだが、これまでの投資額が毎年同額であった場合との比較を実施



初期時点における社会資本の年齢構成の影響

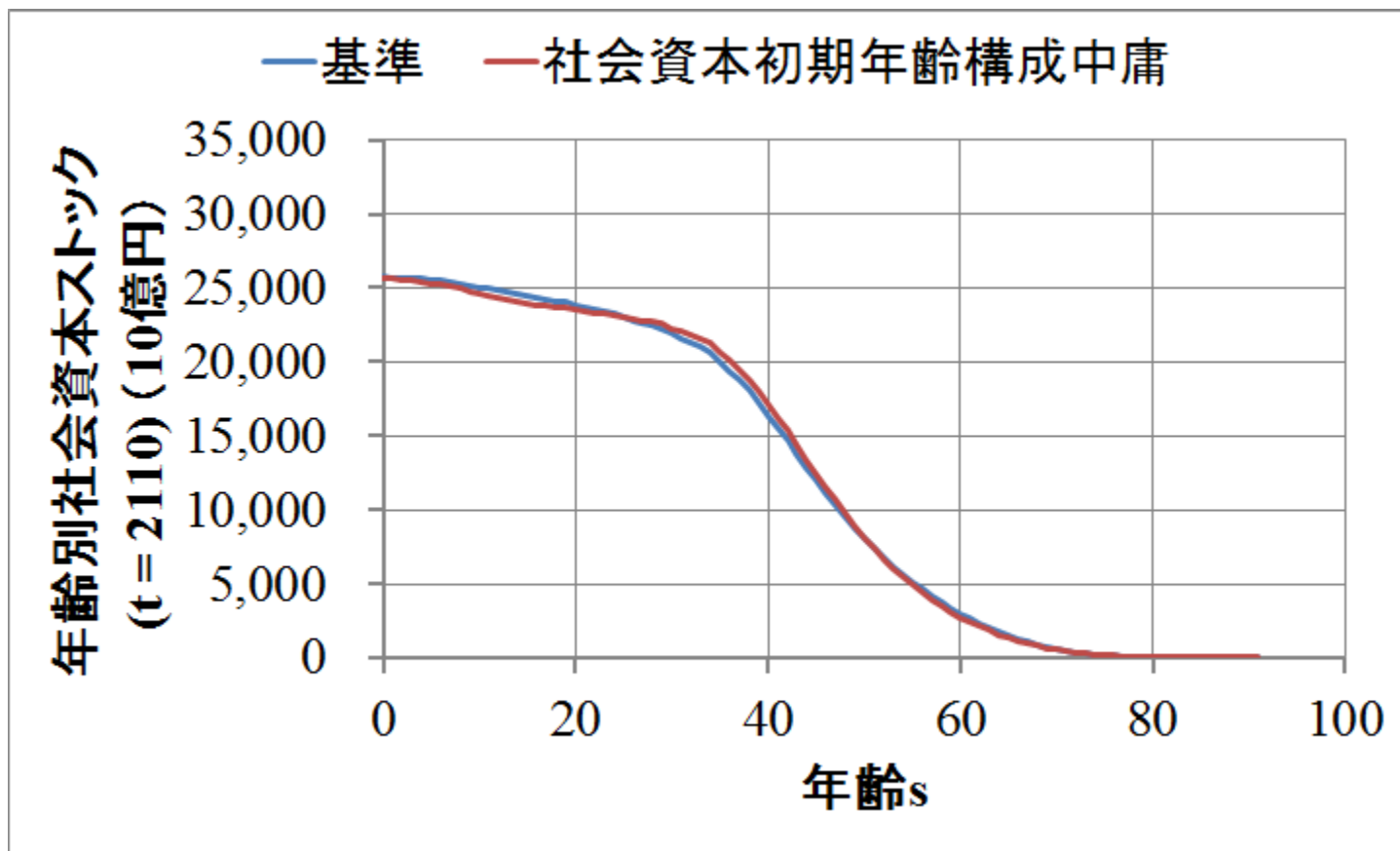
各ケースにおける社会資本更新投資の推移比較



- 社会資本の年齢構成の差異は、更新需要の増減する時期の差異として現れる

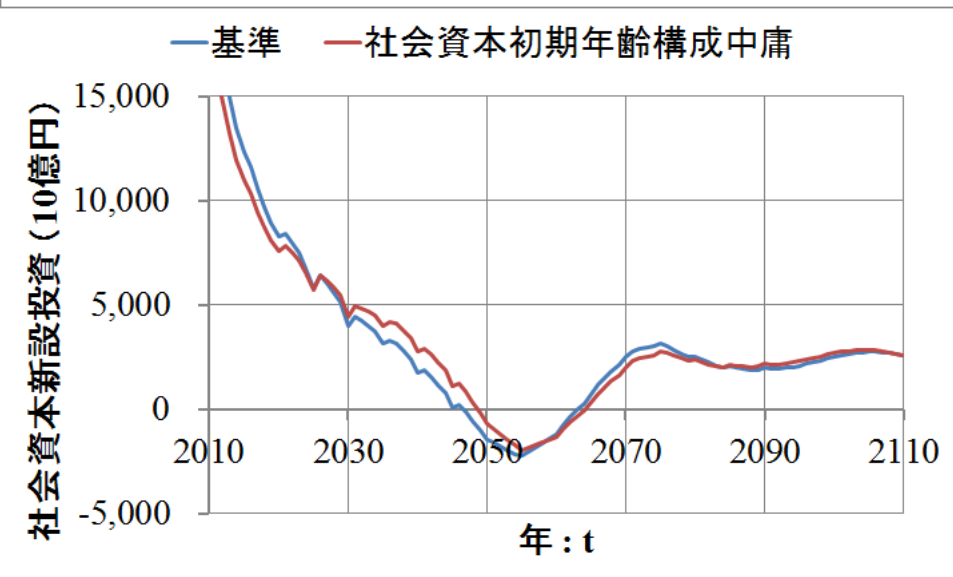
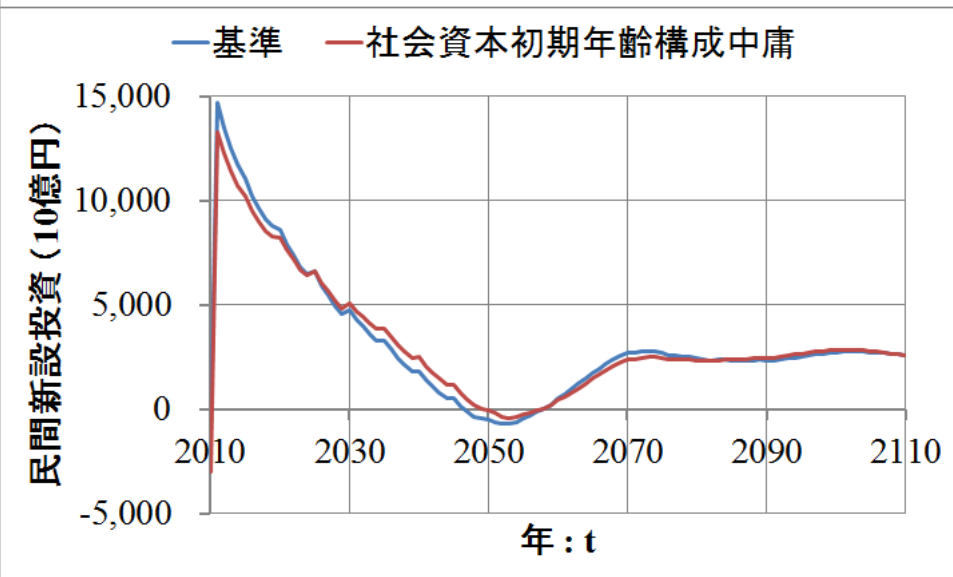
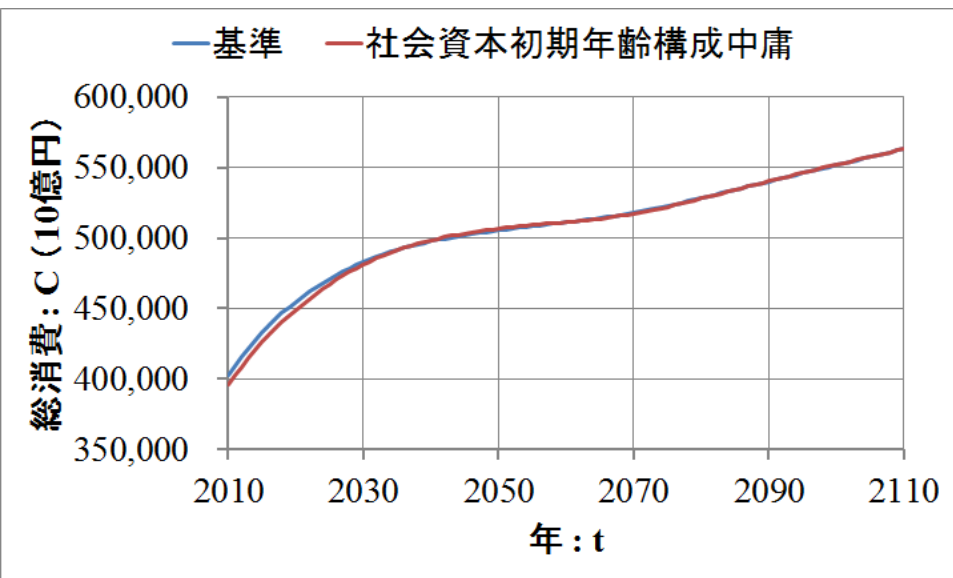
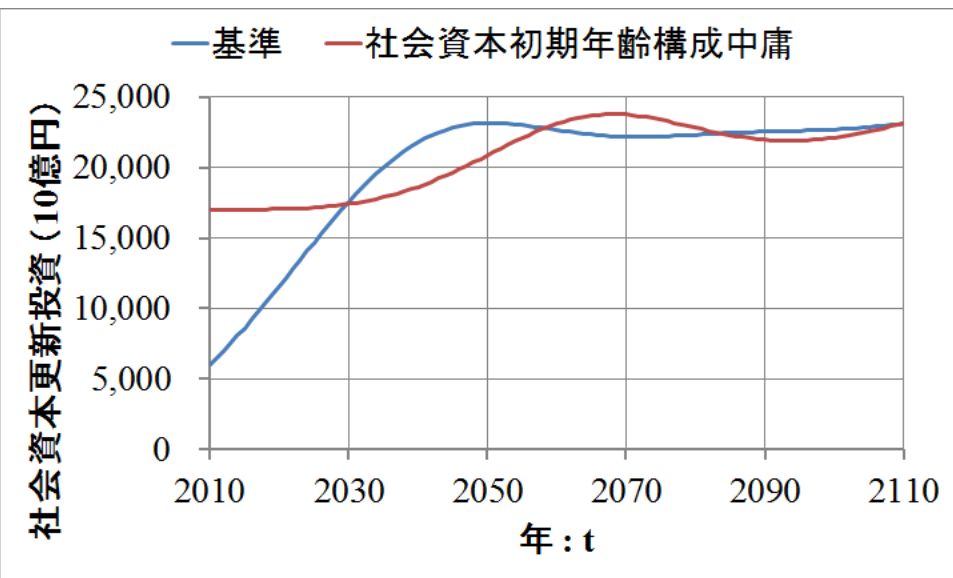
初期時点における社会資本の年齢構成の影響

年齢構成の変遷

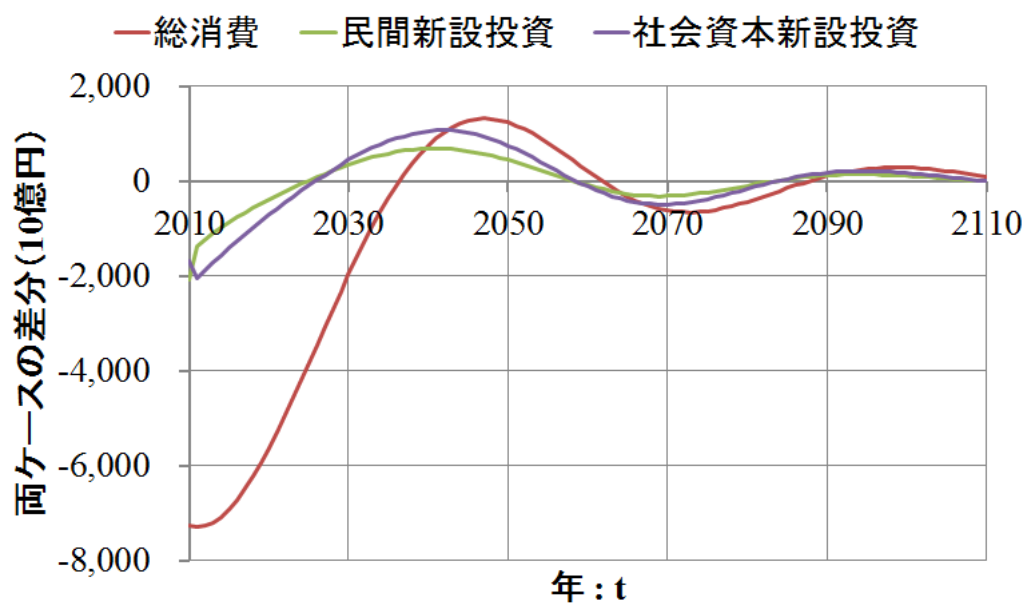
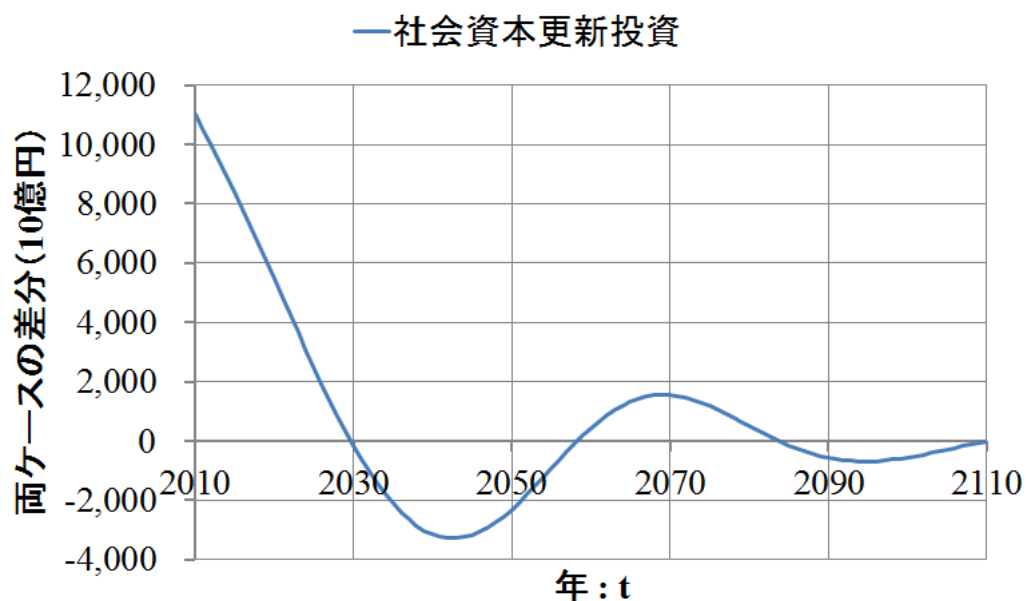


- 長期的には、更新需要の平準化に向かい、初期時点における社会資本の年齢構成の影響は消失

社会資本への更新需要の増大への対応



社会資本への更新需要の増大への対応

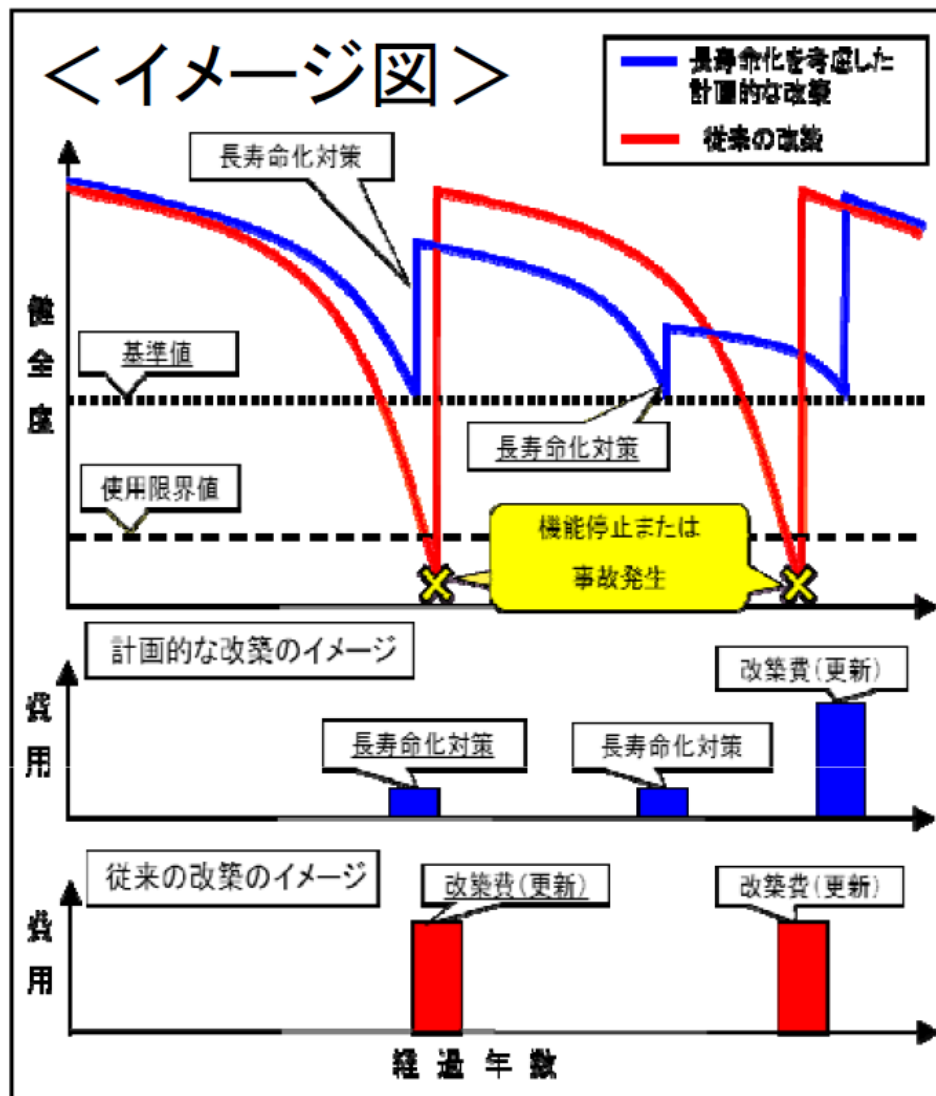


社会資本の更新需要の増大に対しては、「総消費・民間新設投資・社会資本新設投資」の全てを抑えることにより対応する

社会資本の年齢構成と更新需要に関する分析結果

- 長期的には、更新需要を平準化するように社会資本への投資を行うのが最適である
- 社会資本の更新需要の増大に対しては、「総消費・民間新設投資・社会資本新設投資」の全てを抑えることにより対応するのが最適である
 - この結論については吟味が必要

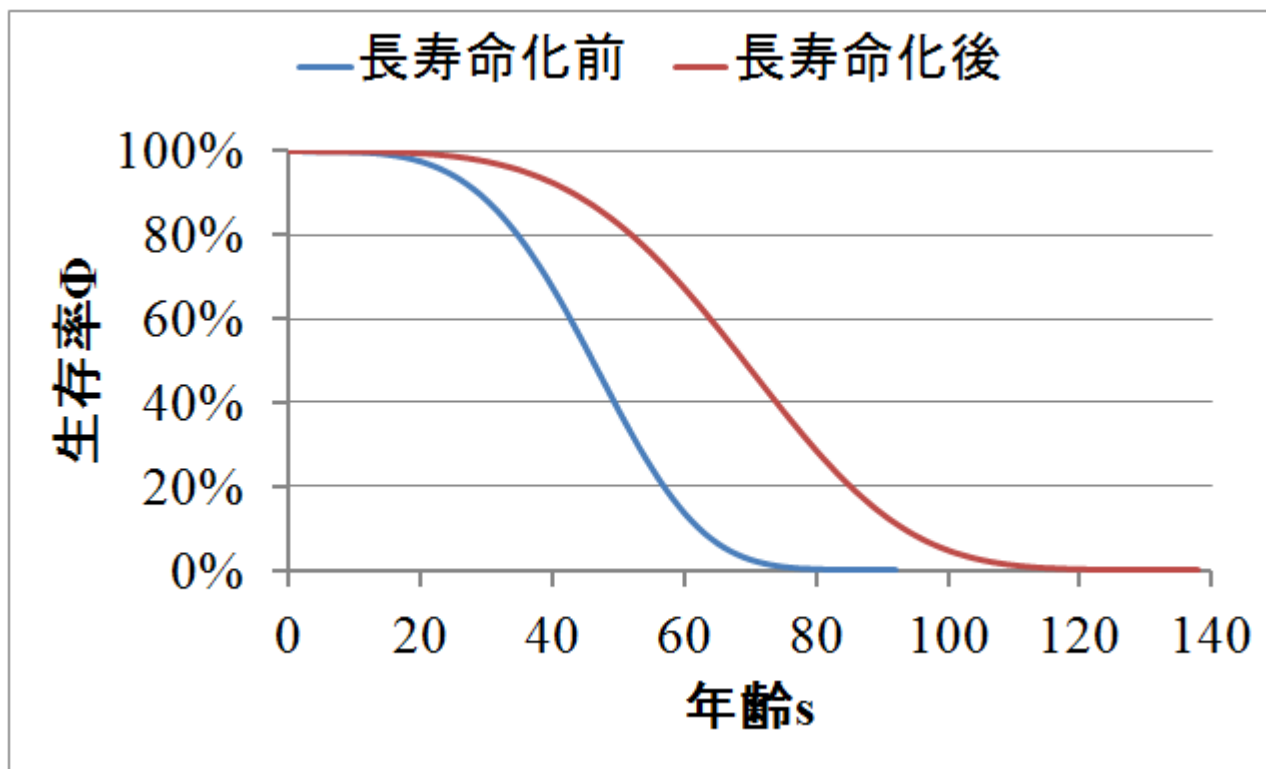
社会資本の予防保全と長寿命化



損傷が軽微なうちに補修を行う
予防保全によって、長寿命化と
コストの縮減及び平準化が可能

出典:国土交通省資料

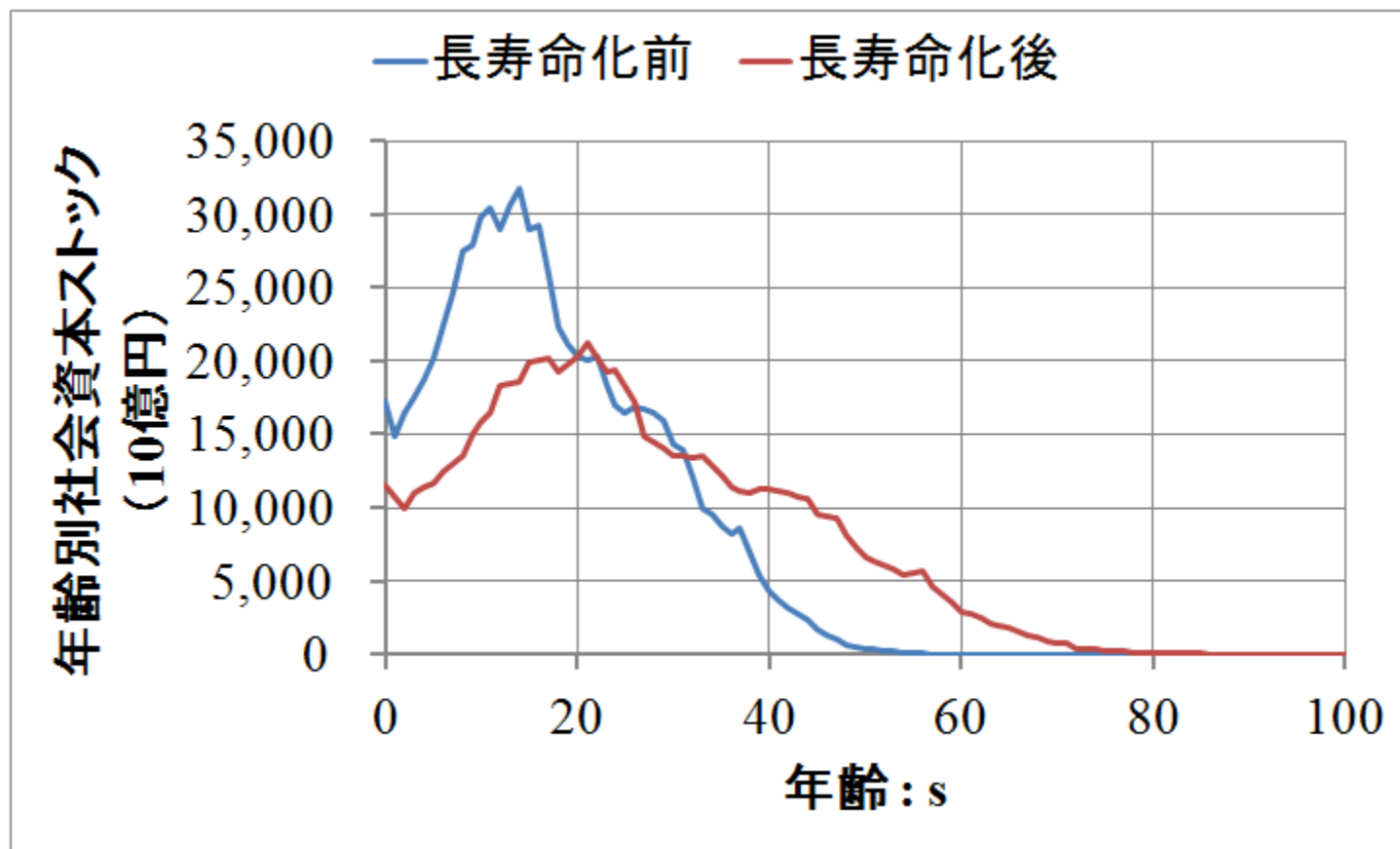
長寿命化の表現



- 予防保全の取り組みの普及により、平均耐用年数は46年→69年(1.5倍)になると仮定
- 維持管理費用は、社会資本ストックの1%分の費用から1.1%分の費用に増加すると仮定

初期時点における既設社会資本の年齢設定

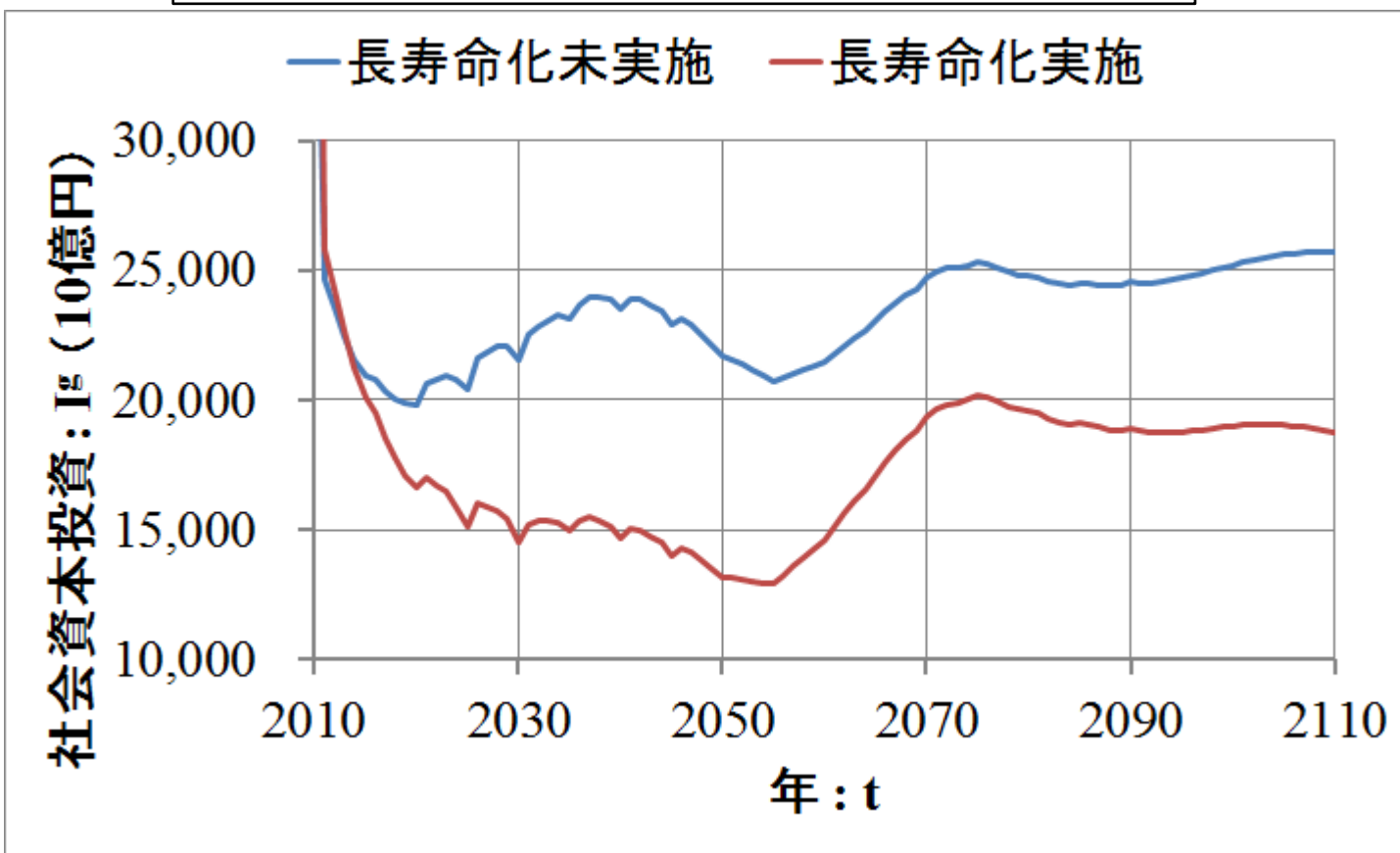
2010年期首における年齢別社会資本ストック



- 既設の社会資本の年齢も1.5倍になると仮定

長寿命化が社会資本投資に及ぼす影響

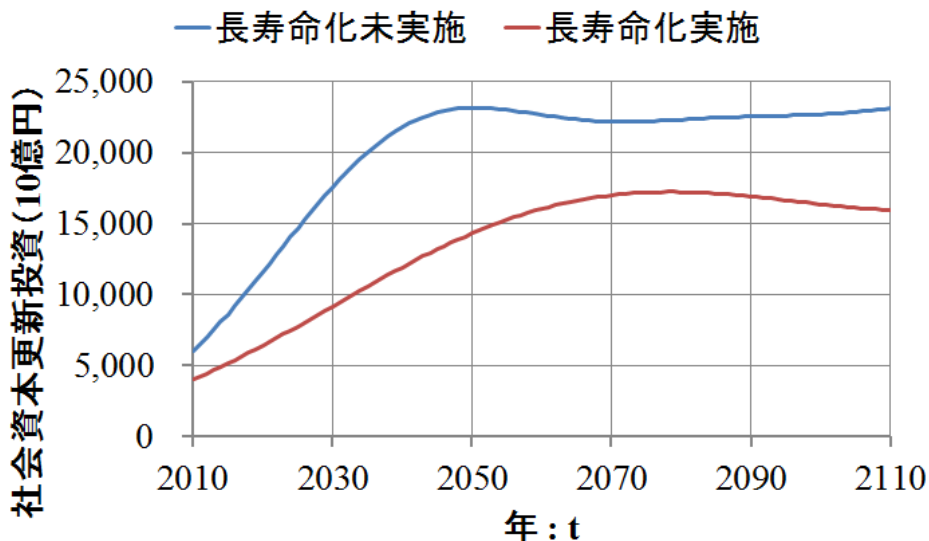
両ケースにおける社会資本投資総額の推移



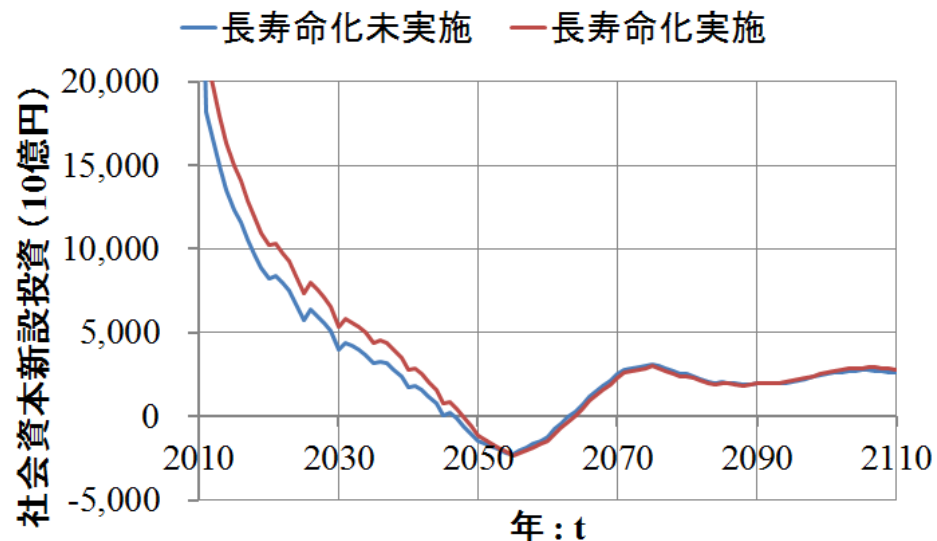
- 長寿命化により最適な社会資本投資総額の水準は減少

長寿命化が社会資本投資に及ぼす影響

両ケースにおける社会資本更新投資の推移



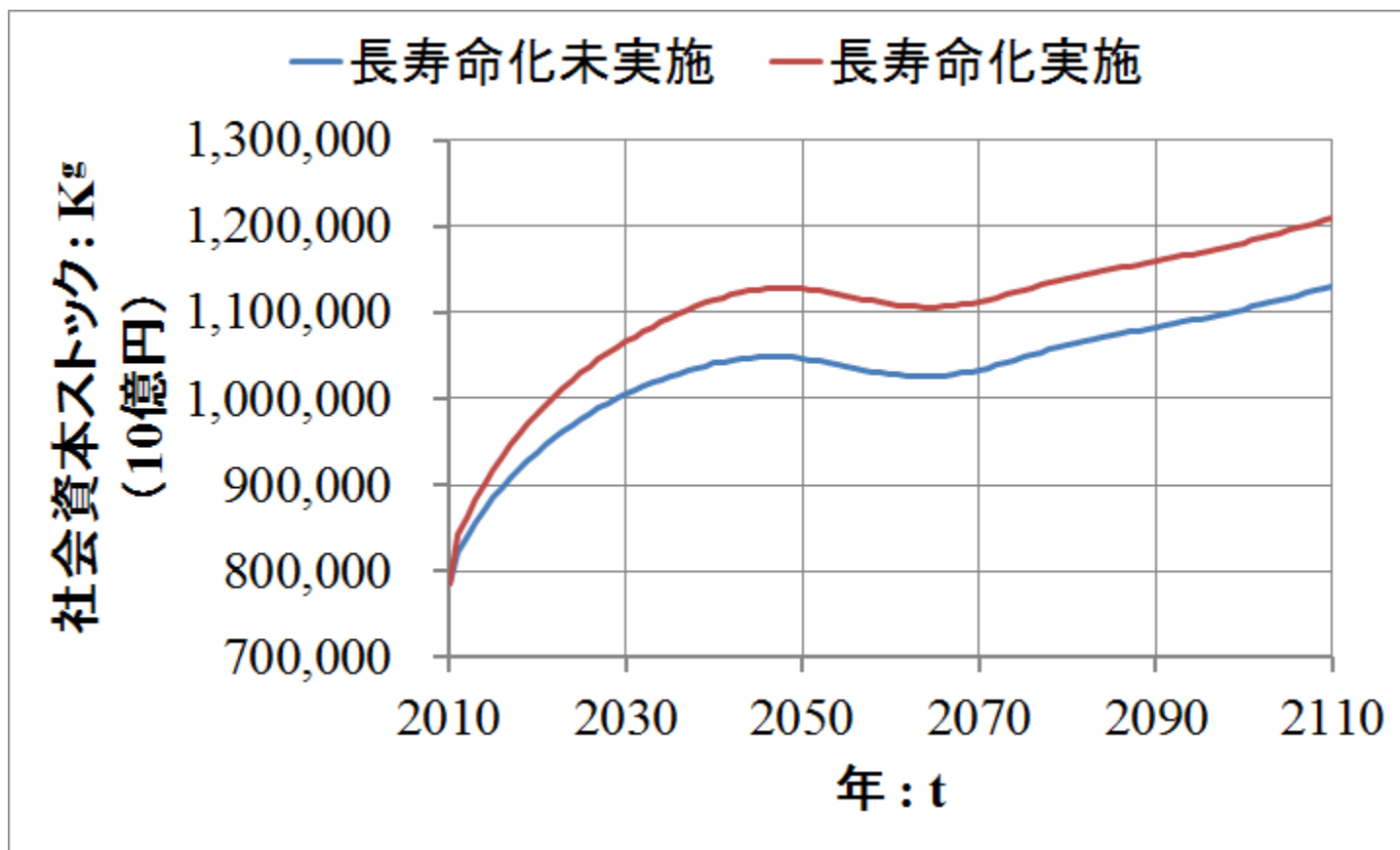
両ケースにおける社会資本新設投資の推移



- 長寿命化により更新投資の水準は低下
- 一方、社会資本新設投資の水準は増加

長寿命化の効用

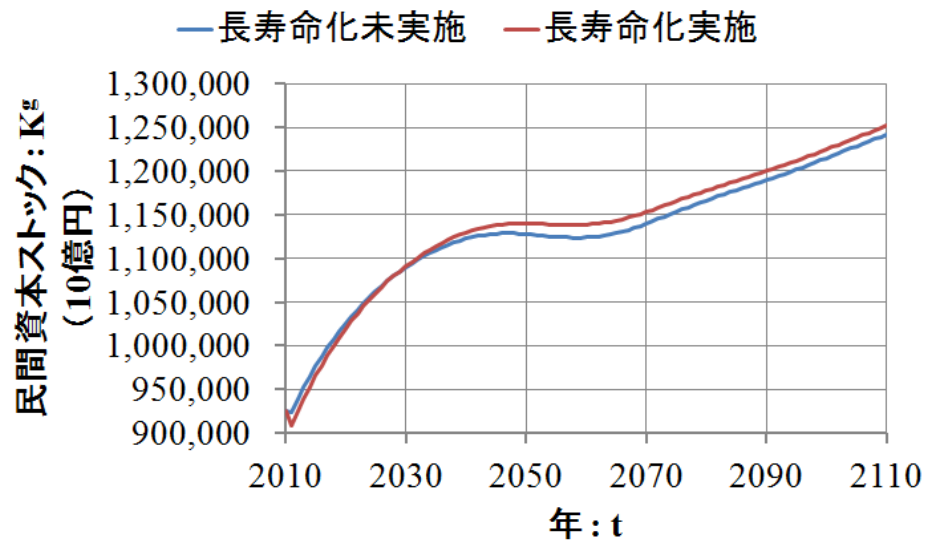
両ケースにおける社会資本ストックの推移



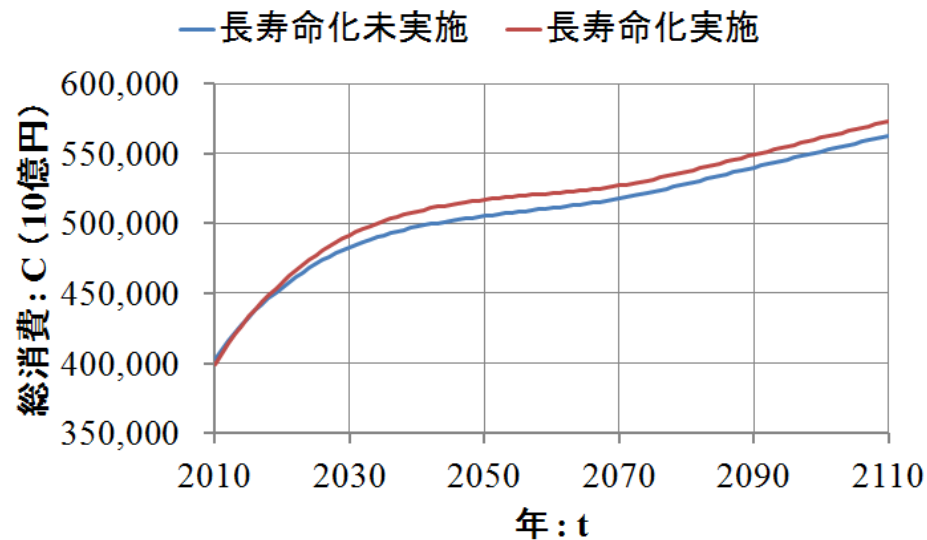
- 長寿命化により、最適な社会資本ストックが増加

長寿命化の効用

各ケースにおける民間資本ストックの推移



各ケースにおける総消費の推移



- 長寿命化により、長期的には民間資本ストックと消費水準も増加

状況別の長寿命化の効用

技術進歩率	高齢化	初期時点 社会資本年齢構成	長寿命化導入による 社会厚生改善値を 金銭換算した額(10億円)
1.0%	進行	若い	133,123
1.5%	進行	若い	123,801
2.0%	進行	若い	115,030
1.5%	進行せず	若い	114,570
1.5%	進行	中庸	127,594

- 一般的に、将来の一人当たり消費の増加が困難な状況ほど、長寿命化の効用は高く評価される

長寿命化に関する分析結果のまとめ

- 社会資本の長寿命化を行うと、更新需要の低下により、社会資本への最適な投資水準は減少する
- 一方で、社会資本ストックの最適な水準は増加し、社会資本の最適な新設投資水準を増加させる
- 長寿命化により、民間資本ストックや消費の最適な水準も長期的には増加する
- 「技術進歩率が低い」、「高齢化が進行する」、「社会資本ストックの平均年齢が高い」など、将来の一人当たり消費の増加が困難な状況では、長寿命化の効用は高く評価される

分析の問題点

- 最大の問題は、建設業と他の産業を区別していないこと
- 以上のモデルでは、消費や民間投資を1単位減らせば、社会資本の投資を1単位増やせる定式化になっている

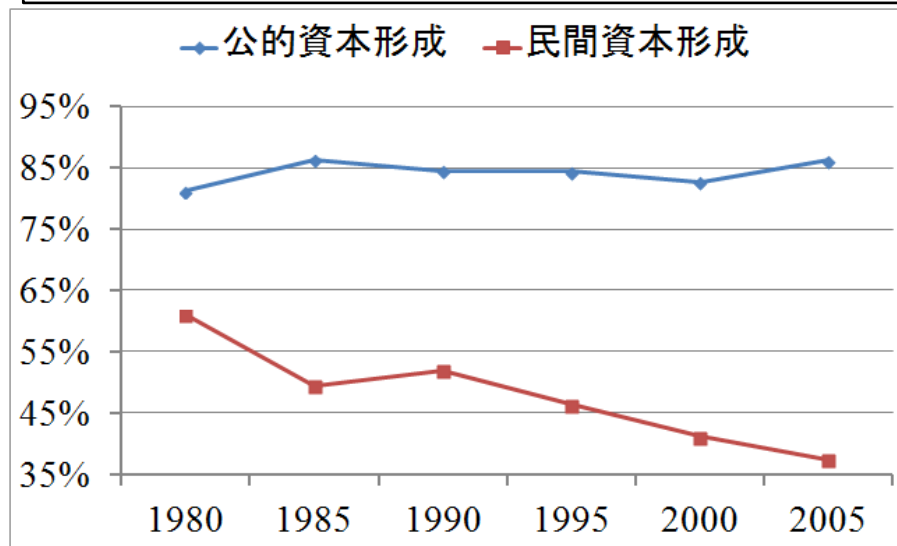
$$Y_t = F(K_t^P, K_t^g, L_t, A_t)$$

$$C_t + I_t^P + I_t^g + 0.01K_t^g = Y_t$$

- 実際には、特定の産業の生産活動は、その産業に固有の労働者と資本により行われている
 - ある産業の産出を1単位減らしたからといって、他の産業の産出を1単位増やせるわけではない

資本形成に建設業はどれだけ必要か

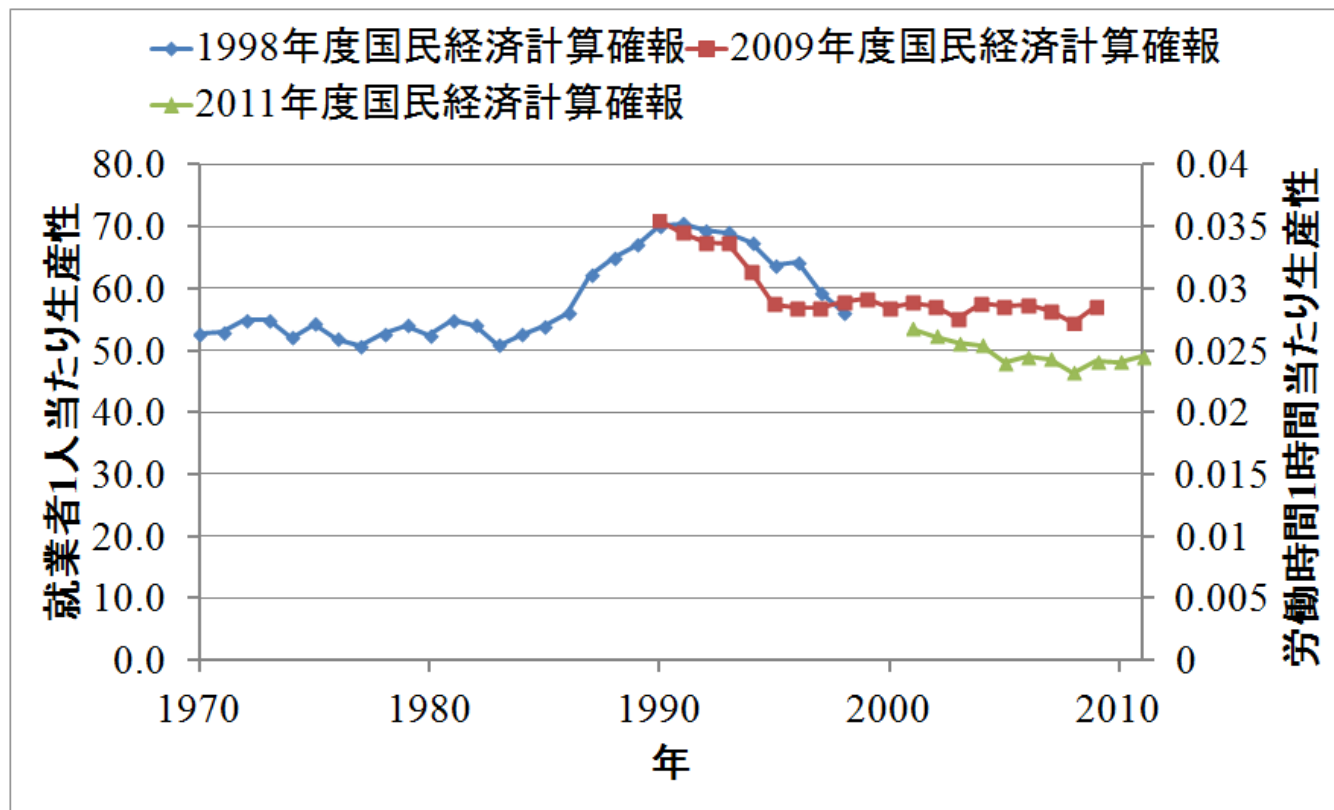
資本形成における建設業の投入係数の推移



建設業の投入係数が0.7 = 100円分の資本形成を行うには、建設業の生産物70円分と、その他の産業の生産物30円分が必要

- 民間投資を減らしても、それに見合う余力が建設業に生まれるわけではない
- 建設業の生産物は消費されないもので、消費を減らしても建設業の余力は増えにくい

建設業の労働の平均生産性の推移



1998年度国民経済計算確報のグラフは、建設業の実質GDP÷就業者数
その他のグラフは、建設業の実質GDP÷就業者数÷労働時間

- 建設業は労働の平均生産性を高めることが困難な産業

今後の課題

- 建設業とその他の産業を明示的に区別した分析が必要
- 規範的な資本蓄積経路の分析だけではなく、より現実的な前提の分析も行う必要がある
 - 社会資本の厚生に資する効果
 - 個人・企業・政府の個別の行動
 - 財政制約(年金・社会保障)
 - 貿易・対外投資・資源価格
 - 景気変動
- 現実的な前提の分析を行う際には、モデルのInputとなるパラメータ等をどう設定すればよいか、という問題も大きい