

Discussion Paper No.292

資本の減価償却率、技術進歩と経済成長
—中国各自治体の資本の減価償却率モデルに基づく概算

中国社会科学院
陳昌兵
一橋大学 大学院
高晨曦:訳

December 2017



INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH
Chuo University
Tokyo, Japan

資本の減価償却率、技術進歩と経済成長

-中国各自治体の資本の減価償却率モデルに基づく概算

Capital Depreciation Rate, Technological change and Economic Growth

-based on the estimation of Chinese province (municipalities) capital depreciation rate model

陳昌兵（中国社会科学院）

Chen Changbing (Chinese Academy of Social Sciences)

訳 高晨曦（一橋大学（院））

Gao Chenxi (Hitotsubashi University)

資本の減価償却と投資は、長年、マクロ経済を牽引するものと考えられてきた。まず、減価償却による資本の更新と投資は、より低い技術水準の資本をより高いものに交換すること、すなわち、資本に体化された技術水準の向上を意味する。更に、減価償却による資本の更新と拡大投資の需要は、経済の拡張と成長を裏付ける。減価償却による資本の更新と投資は一国のマクロ経済の不可欠な構成部分である。資本の減価償却税率を利用する国家はマイクロ企業の資本限界コストを調整することによって、マクロ経済の投資額を調節できる。この意味では、減価償却による資本の更新と投資は、技術進歩により供給面（長期的）からと同時に、投資額変動により需要面（短期的）からもマクロ経済に影響しうる。では、現実的にみて、我が国で、技術進歩、経済成長と資本の減価償却率にはどのような関係が存在するのか。本稿は、資本ストックを試算することによって資本の減価償却率、経済成長率と技術進歩に関する数量モデルを構築し、それらの関係を分析する。更に、我が国の各自治体における資本の減価償却によって資本の減価償却率の計量モデルを構築し、最尤法を用いて資本の減価償却率と経済成長との関係を推測し、各自治体の減価償却率を試算する。その上で、中国の各自治体における資本ストックを測定し、計量モデルから得た変数の推定値によって資本に体化された技術進歩を推定する。

我が国では、資本ストックという指標は公的に統計されていないから、色々な方法を利用し各自治体の資本ストックを測定しなければならない。だが、こうした測定による調査結果は結論が一致せず、統一の見解に至らなかった。だから、資本の減価償却率を如何に試算し、どれだけ精確に各自治体の資本ストックを推定するかが、非常に有意義な研究課題となる。

これまでの研究と比べ、本文は以下の面で改良を試みた：(1) 各自治体における資本の減価償却、資本ストックの初期値と投資によって資本の減価償却率に関する計量モデルを構築し、計量方法を用いて資本ストックの初期値を推計し、1990-2015年間各自治体の資本ストックを推定する；(2) 資本の減価償却率という斬新な角度から出発し資本に体化された技術進歩を測定する；(3) 技術進歩、経済成長と資本の減価償却率を同一の分析枠組に統一し、数理モデルを用いてそれらの内的関連を分析する；(4) 各自治体の1990-2015年間の資本の減価償却、投資などのデータから可変資本の減価償却率モデルを集計し、変数推定値を得て、各自治体における資本に体化された技術進歩の大きさを測定し、審級を付ける。

本文はまず技術進歩と中国の各自治体における資本ストックに関する先行研究を検討し、技術進歩と中国の各自治体における資本ストックの測定に関する問題点を明らかにする。第二の部分では数理モデルが構築される。われわれは技術進歩、資本の減価償却率と経済成長に関するモデルを構築し、それらの関係を分析し、資本の減価償却率に関する計量モデルの構築に理論的根拠を提供する。第三の部分では、われわれは資本の減価償却をもって各自治体における資本の減価償却率に関する計量モデルを構築し、このモデルの変数推定方法を設計する。そして第四の部分でそれらの変数を推定し、検証する。具体的に言えば、成長率法と計量法を用いて1990年各自治体における資本ストックの初期値を推定し、各自治体における資本の減価償却と投資に関するデータを集計し、最尤法を用いて各自治体における資本の減価償却率に関するモデルを推定する。可変資本の減価償却率モデルの変数推定値から、中国の各自治体における資本に体化された技術進歩を明らかにし、大きさによってそれらに審級をつける。最後では、モンテカルロ法による各自治体における資本の減価償却率モデルの変数推定の安定性と確実性を検証し、少ないサンプルに対する最尤法の確実性を検証する。第五の部分は資本ストックの推定と比較に携わる。資本ストックの初期推定値、投資と推定された資本の減価償却率によって各自治体の1990-2015年間での資本ストックを推定し、先行研究と比較する。最後は、全文を簡単にまとめ、将来の研究方向を提示する。

一、先行研究

(一) 中国の各自治体における資本の減価償却率及び資本ストックの測定

資本ストックには一般的に生産的資本ストックと富の代表としての資本ストックが含まれているが、本文は前者のみを扱う（土地と人的資本を除外する）。数多くの先行研究から見て、全国レベルでの研究は多いのだが、自治体ごとに資本ストックを測定する研究はほ

とんどない。その中では、張軍ら（2004）、単豪傑（2008）、孙辉と支大林（2010）、谢群と潘玉君（2011）らが含まれる。

資本ストックを測定するには、資本ストックの初期値、資本の減価償却率と投資という三つの指標が必要である。資本ストックの初期値について、先行研究は一般的に計量方法を採用し推定を行っている。投資に関するデータは公式なデータを採用している。資本の減価償却率について、公式なデータは存在しないので、研究者たちは各自に推定するしかないが、現時点では学界全体を納得させる測定方法は存在しない。だから、確実性の高い資本の減価償却率の測定は、中国の資本ストックを測定するための鍵となるだろう。資本ストックの初期値と減価償却率が分かるならば、投資によって資本ストックを得られる。

先行研究では、資本ストック初期期間として1952年と1978年がよく使われているが、本稿はそれを1990年に設定する。なぜなら、第一に、固定資産投資の価格指数がもたらした資本ストック推定の攪乱を回避できるのは、当該指数が公式的に公表され始まる1991年だからである。第二に、1994年から国家统计局が各自治体における資本の減価償却データを公表し始め、そこから容易に資本の減価償却率モデルを構築して資本の減価償却率を推定し、1990-2015年間各自治体の資本ストックを測定できるからである。第三に、1954-1990年間各自治体における固定資本形成額のデータを利用し、計量方法を用いて精確に各自治体1990年での資本ストックの初期値を推定できる。第四に、初期期間を1978年に設定することは、資本ストックの測定の精確性に役立つが、本稿が用いられている計量方法ではそれを推定するのは難しい。可変資本の減価償却率モデルで資本の減価償却率の複利形式で資本ストックを試算するとき、もし初期期間が1978年に設定された場合、2015年の資本ストックは資本の減価償却率の37次元（累乗）となってしまう、それに対して、1990年に設定された場合は僅か25次元、計算の量は桁違いである。

先行研究と同様、われわれは比較可能な固定資本の形成額を各自治体の投資、国家统计局が公表した各自治体の固定資産投資価格指数を固定資産投資価格指数とする。では、まず初期資本ストックと資本の減価償却率に関する先行研究を見てみよう。

1、初期資本ストック

先行研究は大体初期期間を1952年あるいは1978年に設定しており、これらの研究から得られる各自治体の資本ストックの序列は価格指数を通じて1990年を価格基準とする1990年各自治体の資本ストックに転化しうる。これは各自治体1990年資本ストックの初期値の確定に役立つ。

林毅夫と劉培林（2003）はHarberger（1978）の「安定状態時、物質的資本の成長スピードは総生産の成長スピードと一致する」という仮定に基づき、初期期間を1978年に設定

される資本ストックの推定式を得て、各自治体の資本ストックに関する諸データを導入する上で1978年各自治体の資本ストックを得られた。胡と闕 (Hu and Khan, 1997)、宋海岩ら (2003) の推計により、1958年我が国の資本ストックは2352億元 (1978年の価格基準) である。全国の固定資本形成額と固定資産投資の価格指数を利用して、彼らは1952年の全国資本ストックを509億元 (1952年の価格基準) と推定する。初期期間が1952年である中国各自治体の資本ストックが同等と仮定すれば、1952年全国の資本ストックを30等分すれば、1952年を初期期間とする各自治体の資本ストックを得られる。

張軍ら (2004) は1952年を初期期間とし、年毎に投資フロー、投資品の価格指数、資本の減価償却率と欠損データを計算、処理し、その上、調整された各自治体の補充データを利用し、継続記録法を用いて1952-2008年間各自治体の資本ストック (1952年の価格基準) を割り出し、投資品価格指数によって張軍ら (2004) が測定した1990年の価格基準での1990年各自治体の資本ストックと資本一生産高比例 (テーブル1に参照) を明らかにした。

単豪杰 (2006) も1952年を初期期間とし、継続記録法を用いて1952-2006年間の各自治体の資本ストック (1952年の価格基準) を推定した。これで、投資品価格指数によって単豪杰 (2006) が測定した1990年の価格基準での1990年各自治体の資本ストックと資本一生産高比例 (テーブル1に参照) を割り出すことができる。

孫輝と支大林 (2010) も1952年を初期期間とし、1952年各自治体の投資を1952-1957年間の投資の算術平均成長率と資本の減価償却率の合計値で割って、初期期間の資本ストックを得た。彼らは継続記録法を用いて1952-2008年間の各自治体の資本ストック (1952年の価格基準) を得て、投資品価格指数によって孫輝と支大林 (2010) が測定した1990年の価格基準での1990年各自治体の資本ストックと資本一生産高比例 (テーブル1に参照) を得た。

謝群と潘玉君 (2011) は1952年を初期期間とし、継続記録法を用いて1952-2009年間の各自治体の資本ストック (1978年の価格基準) を得た。投資品価格指数によって謝群と潘玉君 (2011) が測定した1990年の価格基準での1990年の各自治体の資本ストックと資本一生産高比例 (テーブル1に参照) が得られる。

表1 各学者が測定した1990年各自治体の資本ストックと資本一生産高比例

省 (市)	張軍等 (2004) 資本ストック	張軍等 (2004) 資本一生産 高比例	単豪杰 (2006) 資本ストック	単豪杰 (2006) 資本一生産 高比例	孫輝等 (2010) 資本ストック	孫輝等 (2010) 資本一生産 高比例	謝群等 (2011) 資本ストック	謝群等 (2011) 資本一生産高 比例
北京	1834.76	3.6635	945.09	1.8871	688.14	1.3740	1181	2.3581

天津	1345.05	4.3256	673.33	2.1654	957.61	3.0796	984.81	3.1671
河北	2087.75	2.3292	1187.42	1.3248	1219.85	1.3609	1777.26	1.9828
山西	885.32	2.0624	821.70	1.9142	583.74	1.3598	1318.27	3.0710
内蒙古	770.94	2.4144	422.87	1.3243	480.50	1.5048	573.62	1.7964
辽宁	4813.11	4.5290	1477.74	1.3905	1491.04	1.4030	2342.99	2.2047
吉林	1181.56	2.7783	583.34	1.3717	660.07	1.5521	856.29	2.0135
黑龙江	2829.55	3.9561	1157.83	1.6188	1919.12	2.6832	1168.62	1.6339
上海	2901.40	3.8355	1212.11	1.6024	1821.65	2.4082	1943.39	2.5691
江苏	3458.06	2.4413	1826.16	1.2892	1730.98	1.2220	2214.66	1.5635
浙江	2112.44	2.3524	1011.77	1.1267	1117.04	1.2439	1388.78	1.5465
安徽	2230.44	3.3896	770.10	1.1703	1229.70	1.8688	1023.42	1.5553
福建	1500.85	2.8680	716.29	1.3688	1082.71	2.0690	977.21	1.8674
江西	1058.58	2.4697	469.38	1.0951	481.86	1.1242	826.49	1.9700
山东	3541.86	2.3438	2368.18	1.5671	2010.08	1.3301	3244.04	2.1467
河南	2593.55	2.7749	1319.81	1.4121	1692.42	1.8108	1914.75	2.0486
湖北	1357.98	1.6583	934.66	1.1414	1282.05	1.5656	1447.76	1.7562
湖南	2195.23	2.9488	999.13	1.3421	1193.99	1.6039	1329.67	1.7861
广东	3232.75	2.2289	1823.96	1.2576	1989.96	1.3721	2737.53	1.8599
广西	808.32	1.8000	627.23	1.3968	608.49	1.3550	1148.89	2.5584
海南	350.27	3.4176	157.29	1.5347	295.68	2.8850	358.85	3.5013
重庆								
四川	3834.67	3.2327	1917.37	1.6164	1985.04	1.6734	1678.92	1.4154
贵州	1028.20	3.9525	435.29	1.6733	612.09	2.3529	739.77	2.8437
云南	2885.98	6.3896	546.97	1.2110	725.74	1.6068	1181.01	2.6148
西藏	80.16		44.91		51.71		75.05	
陕西	2003.62	4.9558	764.01	1.8897	960.87	2.3766	1123.26	2.7783
甘肃	643.08	2.6485	416.71	1.7162	368.51	1.5177	730.1	3.0069
青海	285.59	4.0834	122.13	1.7462	166.40	2.3792	200.58	2.8679
宁夏	360.11	5.4513	185.13	2.8025	155.94	2.3605	340.91	5.2577
新疆	1073.06	3.9163	445.48	1.6258	625.37	2.2824	733.64	2.6775

注：1990年まで重慶は四川に属し、その後から中央政令都市となった。1990年西藏のGDPデータは国家統計局が公表していない。資本ストックの尺度：億元（1990年の価格を基準）。

表1から分かるように、1990年の各自治体の資本ストックに関する学者たちの推定値はかなり割れている。1990年の北京のそれを見るだけでも、推定資本ストックの最大値は1834.76（張軍等，2004）であり、これは最小値688.14（孫輝等，2010）の2.67倍である。1990年の推定資本ストックに対する違いも当然、そこから得た資本—生産高比例の違いに影響する。上記諸学者の測定値はそれぞれ3.66、1.89、1.37と2.36であって、最大値3.66（張軍等，2004）は最小値1.37（孫輝等，2010）より2.29ポイントも上回っていて、両者間の差異は1990年の北京のGDPよりも遥かに高い。張軍等（2004）が測定した1990年各自治体の資本ストックは単豪杰（2006）、孫輝等（2010）と謝群等（2011）のそれより大きい、後者たちの測定値の違いは相対的に小さい。

このとおり、1990年各自治体の資本ストックに関する学者たちの推定値はかなりわかれていて、どれを選ぶにしろ説得力が欠けている、だが、これらの推定値の平均値は初期期間を1990年に設定する各自治体の資本ストックの参考になりうる（表3を参照）。

2. 各自治体における資本の減価償却率

前節でも見たように、資本の減価償却率に関する先行研究は主に全国範囲内の資本の減価償却率の測定に注目し、全国レベルでの資本の減価償却率を各自治体の減価償却率としている。

資本の減価償却には物理的減価償却と経済的減価償却とがあるが、本稿では前者のみが扱われる。我が国における資本の減価償却率を測定する先行研究は主に4つの方法を採用している。（1）海外の研究でよく使われている資本の減価償却率をそのまま引用する；（2）資本財の相対的効率と残余値率によって資本の減価償却率を計算する；（3）国民所得の測定関係により資本の減価償却を逆算し、投資、資本の減価償却と固定資本の価格指数によって資本の減価償却率を得る；（4）生産関数を利用し、最尤法で資本の減価償却率を推定する。

多くの先行研究では、資本の減価償却率は5%前後に設定されている。例えば、Hu & Khan（1997）は我が国における資本の減価償却率を3.6%と仮定した、Wang & Yao（2001）は5%、固定資産の平均使用期間を20年と推定するト永祥と靳炎（2002）の場合も5%。資本の物理的減価償却と経済成長率との正比例関係を認める宋海岩ら（2003）は資本の名目減価償却率を3.6%に設定した上で、経済成長率を計上し、資本の実質減価償却率を計算した。『中国統計年鑑』における1978-1992年国有企業の資本の減価償却率を依拠する郭庆旺と贾俊雪（2004）も我が国における資本の減価償却率を5%と推定した。

先行研究はよく全国レベルでの資本の減価償却率を各自治体における資本の減価償却率と同一視する。例えば、全国の資本の減価償却率は10%であると想定する刘明兴（2002）

は現時点で各自治体における資本の減価償却率を推定するのは困難であることを認め、それを均一的に 10.96%と仮定した。相対的効果が幾何逓減する場合、加重平均計算による全国での資本の減価償却率 9.6%を張军等（2004）はそのまま各自治体での資本の減価償却率とみなしている。

関連する研究を分析する上、財政部が公表する国有企業の固定資産別資本の減価償却期間を考慮する単豪杰（2009）は建築物の使用年限を 38 年、機械や設備などのそれを 16 年に設定し、それによって両者の減価償却率をそれぞれ 8.12%と 17.08%であると想定した。これらの資本の減価償却率の加重平均値をとり、全国レベルでの資本の減価償却率を 10.96%と推定し、自治体ごとに資本の減価償却率を推計することは難しいと判断した上で、単豪杰（2009）は各自治体における資本の減価償却率を 10.96%と想定した。

孙辉と支大林（2010）は『中国統計年鑑』『中国工業統計年鑑』で公表された工業企業の固定資産（純）高と固定資産（粗）高に依拠し、5.34%という資本の減価償却率の平均値を得た。他の要素をも考慮した場合には、孙辉と支大林（2010）はこれよりも高い値を設定し、6%を各自治体における資本の減価償却率とした。

谢群と潘玉君（2011）は各自治体における資本の減価償却を利用し、それによって 1952-2009 年各自治体における資本の減価償却率を測定した。地域や経済成長レベルにおける各自治体の差異をも考慮し、彼らは可變的資本の減価償却率を採用し、資本の減価償却を二つの期間に、すなわち 1952-1984 年と 1985-2009 年とに分けた。これで、資本ストックの初期値と年毎の資本の減価償却額から 1952-2009 年各自治体における資本の減価償却率が得られる。

前述の通り、我が国の各自治体における資本の減価償却率を測定しようとする先行研究者たちは主に統計方法あるいは計量方法によって資本の減価償却率を推計した。日本では企業の資本財精算価格（企業清理资本品价格）や更新した資本財の価格を利用し、計量モデルによって資本の減価償却率を評価することもある。有形的と無形的技術進歩による資本のライフサイクルの短縮化をも考慮し、Diewert & Wykoff（2007）はより効率的な資本に体化された技術進歩モデルを構築した。この上、彼らはマイクロデータから技術進歩を考慮した資本の減価償却率を得た。資本ストックは観測不能だが、資本ストックから生じた資本のサービスフローは観測されうる。Epstein & Denny（1980）は観測されうる資本ストックによる資本のサービスフローによって資本ストックと資本の減価償却率を推計するモデルを構築した。

資本ストックは直接的に観測されえないので、それを測定するには資本の減価償却率を知る必要がある。計量回帰の方法だけでは資本の減価償却率を直接的に推計することはできない。Ingmar（1995）はダミー変数を設定し、それを資本量に上書きして、生産関数の

計量回帰によって安定的な資本の減価償却率を得て、資本ストックをも得た。Hernández & Mauleón (2005) はこの方法に基づき変動可能な（可変的）資本の減価償却率を評価する方法を構築した。この方法は経験的適用性や計算しやすい点で優れている、非線形推計 (NLS) や最尤法 (ML) によって推計されうる。生産関数を利用し中国の資本の減価償却率モデルを構築した陈昌兵 (2014) は中国の生産高、労働と投資データを利用し、最尤法を用いてモデルから中国の資本の減価償却率を得て、1978-2012 年全国の資本ストックを得た。

本稿は、継続記録法での資本ストックから資本の減価償却率、経済成長と資本に体化された技術進歩に関する数理モデルを構築する最初の試みである。我が国の各自治体における資本の減価償却から資本の減価償却率に関する計量モデルを構築し、最尤法をもってそれを評価し、モデルの変数推定値から資本に体化された技術進歩を得て、そこから各自治体における資本の減価償却率と資本ストックを得る。より精確に可変資本の減価償却率と資本に体化された技術進歩を評価するため、われわれは反復評価法で可変資本の減価償却率モデルを扱い、モデルの変数推定値から各自治体における資本に体化された技術進歩を得ようとする。

前述の通り、外国のデータをそのまま我が国に当てはめたり、人為的かつ任意的に我が国の各自治体における資本の減価償却率を設定したりする研究はもちろんのこと、各自治体の資本の減価償却から出発し、統計方法を用いて各自治体における資本の減価償却率を測定する方法にも、以下のような欠陥が見られる：第一、この方法によって得られた資本の減価償却率は年毎に変動が激しい。マイナスになるケースもしばしば見られる；資本の減価償却データが欠損した年では資本の減価償却率が測定されえない。本稿は観測可能な各自治体における資本の減価償却から資本の減価償却率の計量モデルを構築し、各自治体における資本の減価償却率を推定する。それによって、各自治体の 1990-2015 年にわたる資本ストックと資本に体化された技術進歩が得られる。

二、数理モデル

ここからわれわれは資本に体化された技術進歩、経済成長と資本の減価償却率に関する数理モデルを構築する。

t 時期の資本ストック K_t を：

$$K_t = D_t + M_{t+1} \quad (1)$$

とし、ただし、 D_t と M_{t+1} はそれぞれ t 時期の資本の減価償却と t 時期から $t+1$ 期にわたる資本ストックである。 t 期における資本の減価償却 D_t の中で、 γD_t が更新され $t+1$ 期における資本ストックとなる、ただし、 $\gamma > 0$ 。これで $t+1$ 時期の資本ストックは以下のように分けられる： t 期から $t+1$ 時期にかけての資本ストック M_{t+1} 、 $t+1$ 期における資本の減価償却に

対する更新 γD_t と $t+1$ 時期の純投資 I_{t+1}^e ^①。技術進歩を資本に体化された技術進歩と仮定し、 t 期の資本が持つ技術進歩水準を A_t 、 $t+1$ 期のそれを A_{t+1} とすれば、以下のような、技術進歩水準を含む資本ストックの関係式が得られる：

$$A_{t+1}K_{t+1} = A_t M_{t+1} + A_{t+1} \cdot \gamma D_t + A_{t+1} \cdot I_{t+1}^e \quad (2)$$

数式 (2) の右辺はそれぞれ t 期から $t+1$ 期に渡された資本ストック $A_t M_{t+1}$ 、 $t+1$ 時期更新された資本ストック $A_{t+1} \cdot \gamma D_t$ と $t+1$ 時期の純投資額 $A_{t+1} I_{t+1}^e$ ；数式 (2) の左辺は $t+1$ 時期の技術進歩水準での資本ストック $A_{t+1} K_{t+1}$ 。

数式 (2) の両辺から同時に A_{t+1} で割って

$$K_{t+1} = M_{t+1} \cdot A_t / A_{t+1} + \gamma D_t + I_{t+1}^e \quad (3)$$

を得る。

$T_{t+1} = A_{t+1} / A_t$ を資本に体化された技術進歩の比例とし、つまり、 T_{t+1} を $t+1$ 期における資本に体化された技術進歩とする。数式 (1) と (3) から

$$\begin{aligned} K_{t+1} &= (K_t - D_t) / T_{t+1} + \gamma D_t + I_{t+1}^e \\ &= K_t / T_{t+1} + (\gamma - 1 / T_{t+1}) D_t + I_{t+1}^e \end{aligned} \quad (4)$$

が得られる。

単純化するために、われわれは以下のような AK 型生産関数を仮定する：

$$Y_t = AK_t \quad (5)$$

数式 (4) と (5) から

$$\begin{aligned} Y_{t+1} &= AK_{t+1} \\ &= AK_t / T_{t+1} + (\gamma - 1 / T_{t+1}) AD_t + AI_{t+1}^e \end{aligned} \quad (6)$$

を得られ、

数式 (5) と (6) から

$$\begin{aligned} g_{t+1} &= \frac{Y_{t+1} - Y_t}{Y_t} \\ &= 1 / T_{t+1} - 1 + (\gamma - 1 / T_{t+1}) d_t + m_{t+1} \end{aligned} \quad (7)$$

得られる。

ただし、 $d_t = D_t / K_t$ は資本の減価償却率； $m_{t+1} = I_{t+1}^e / K_t$ は $t+1$ 期における純投資と資本ストックの比。数式 (7) は資本に体化された技術進歩 T_{t+1} 、経済成長率 g_{t+1} と資本の減価償却率 d_t との関係を表わしている。

数式 (7) から資本に体化された技術進歩、経済成長率と資本の減価償却率との関係

^① $t+1$ 時期の純投資 I_{t+1}^e と $t+1$ 時期の投資額 I_{t+1} との関係は： $I_{t+1} = I_{t+1}^e + \gamma D_t$ である、つまり、

$I_{t+1}^e = I_{t+1} - \gamma D_t$ 、ただし、 γD_t は $t+1$ 期減価償却によって更新された資本額であって、 $t+1$ 期固定資本の更新である。

$$d_t = \frac{1-1/T_{t+1}}{\gamma-1/T_{t+1}} + \frac{g_{t+1}-m_{t+1}}{\gamma-1/T_{t+1}} \quad (8)$$

得られる。

数式 (8) から

$$d_t = (1-1/T_{t+1})\lambda_{t+1} + \lambda_{t+1}(g_{t+1}-m_{t+1}) \quad (9)$$

得られる。

ただし、 $\lambda_{t+1}=1/(\gamma-1/T_{t+1})$ 。適当な計量方法をもって数式 (9) の変数を推定すれば、資本の減価償却率変数 $g_{t+1}-m_{t+1}$ の推定値と定数項推定値の比例から $1-1/T_{t+1}$ が得られ、ここから資本に体化された技術進歩 T_{t+1} が得られる。資本の減価償却率は直接的に観測できないから、資本の減価償却など観測可能な変数によって計量モデルを構築し、数式 (9) を再評価する。

三、計量モデル及びその推定方法

(一) 安定な資本の減価償却率モデルとその推定方法

資本ストックの継続記録法からわかるように、資本ストック、投資と減価償却には以下のような関係が見られる^①：

$$K_t = I_t + (1-d_t)K_{t-1} \quad (10)$$

ただし、 K_t と I_t はそれぞれ t 期における資本ストックと投資であり、 d_t は資本の減価償却率（まず資本の減価償却率 d_t を d に固定して検討し、そこから一定の資本の減価償却率を可変的な資本の減価償却率に変換する）である。数式 (10) から $t=1$ 期における資本ストックと投資との関係式が得られる：

$$K_1 = I_1 + (1-d)K_0 \quad (11)$$

ただし、 δK_0 は $t=1$ 期における資本の減価償却 D_1 、すなわち：

$$D_1 = \delta K_0 \quad (12)$$

である。

数式 (10) から $t=2$ 期における資本ストックと投資との関係

$$K_2 = I_2 + (1-d)K_1 = I_2 + K_1 - dK_1 \quad (13)$$

得られる。

ただし、 δK_1 は $t=2$ 期における資本の減価償却 D_2 、すなわち：

$$D_2 = \delta K_1 \quad (14)$$

^①数式 (2) と (10) とは本質的に一致している。その違いは、数式 (2) は資本に体化された技術進歩を考慮した資本ストックの関係式であり、数式 (10) はそれを考慮しない関係式である。

である。

数式 (11) を数式 (14) に代入し、

$$D_2 = dK_1 = dI_1 + d(1-d)K_0 \quad (15)$$

が得られる。

数式 (10) から $t=3$ 期における資本ストックと投資との関係：

$$K_3 = I_3 + (1-d)K_2 = I_3 + K_2 - dK_2 \quad (16)$$

得られる。

ただし、 dK_2 は $t=3$ 期における資本の減価償却 D_3 、すなわち：

$$D_3 = dK_2 \quad (17)$$

である。

数式 (13) と数式 (11) を数式 (17) に代入し

$$D_3 = dK_2 = dI_2 + (1-d)dI_1 + (1-d)^2 dK_0 \quad (18)$$

が得られる。

同様、 T 期における資本ストック初期値 K_0 と $t=1, t=2 \dots t=T-1$ 期投資 $I_1, I_2 \dots I_{T-1}$ と資本の減価償却率 d との関係

$$D_t = d \sum_{i=1}^{t-1} (1-d)^{t-i-1} I_i + (1-d)^{t-1} dK_0 \quad (t \geq 2) \quad (19)$$

得られる。

ただし、 K_0 は資本ストックの初期値、 I_1, \dots, I_{T-1} は $t=1, t=2 \dots t=T-1$ における投資である。数式 (19) からわかるように、資本の減価償却は資本ストック初期値 K_0 、投資 I_1, \dots, I_{T-1} と資本の減価償却率 d との関係式で表現することができる。資本の減価償却 D_1, D_2, \dots, D_T 、投資 I_1, \dots, I_{T-1} 及び資本ストック初期値 K_0 (前文で測定済み) は既知であって、最尤法を用いてモデル (19) を評価すれば安定的な資本の減価償却率 d を得ることができる。しかし、標準の計量方法でそのままモデル (19) を評価するのは難しい。なぜなら、モデル (19) の変数の数は時期 t とともに変化しているからである。だが、ダミー変数を導入し資本の量を上書きすることでこの問題は解決することができる。既定の t に対し、

T 個下記のような新しい変数 I_t^j ($j = 1, \dots, T$) :

$$I_t^j = I_j D_t^j \quad (20)$$

$$D_t^j = \begin{cases} 1 & j \leq t \\ 0 & j > t \end{cases} \quad (21) \text{ を}$$

規定する。

数式 (20) と数式 (21) を数式 (19) に代入し、

$$D_t = d \sum_{i=1}^{T-1} (1-d)^{t-i-1} I_t^i + (1-d)^{t-1} dK_0 \quad (22)$$

得られる。

数式 (22) から資本の減価償却ベクトル $D = (D_1, \dots, D_T)'$ と資本ストックの初期値 K_0 、投資 I_1, \dots, I_{T-1} と資本の減価償却率 d との下記の関係式が得られる：

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ D_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_0 & 0 & & & & & & & \\ I_1 & K_0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \\ I_2 & I_1 & K_0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot & \cdot & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot & \cdot & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot & \cdot & \\ I_{T-1} & I_{T-2} & & & & & I_1 & K_0 & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d \\ d(1-d) \\ d(1-d)^2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ d(1-d)^{T-1} \end{bmatrix} \quad (23)$$

ただし、 $D = (D_1, \dots, D_T)'$ 、係数行列 $\mathcal{D} = (d, d(1-d), \dots, d(1-d)^{T-1})'$ 、資本形成行列 \mathcal{K} が：

$$\mathcal{K} = \begin{bmatrix} K_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ I_1 & K_0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \\ I_2 & I_1 & K_0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot & \cdot & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot & \cdot & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & & \cdot & \cdot & \\ I_{T-1} & I_{T-2} & & & & & I_1 & K_0 & \end{bmatrix} \quad (24)$$

モデル (23) の各期の変数の数は同じであるがゆえに、標準の計量方法でも評価される。数式 (24) をもって数式 (23) を

$$D_t = \mathcal{K}_t \mathcal{D}_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

(25) に転化する。

ただし、 \mathcal{K}_t は行列 \mathcal{K} の第 t 列。数式 (25) から下記の計量モデルを得ることができる：

$$D_t = \mathcal{K}_t \mu_t$$

(26)

$$\mu_t = \rho \cdot \mu_{t-1} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t : N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

モデル (26) における任意誤差 μ_t はAR(1)分布に従うがゆえに、資本の減価償却との関係性が認められる。

(二) 変動可能な資本の減価償却率モデル及びその推定

1. 変動可能な資本の減価償却率モデル

数式 (9) から資本の減価償却率モデルを下記のような変動可能な資本の減価償却率モデルに修正する：

$$d_t = a + \lambda g_{t+1} \quad (27)$$

ただし、 a は定数であり、 λ は資本の減価償却率の GDP 成長率係数であって、 g_{t+1} は $t+1$ 期における GDP 成長率である。数式 (27) は資本の減価償却率と GDP 成長率との関係を示している。GDP 成長率は絶えず変化しているので、ここでの資本の減価償却率も可動的である。 $\phi_t = 1 - d_t = 1 - a - \lambda g_{t+1}$ とし、 $f_1 = 1 - a$ 、 $f_2 = -\lambda$ が得られる。 g_t が $\bar{g} = \frac{1}{n} \sum g_t = 0$

を満たせば、資本ベクトル $K = (K_1, \dots, K_T)'$ と資本増加量ベクトルとの関係が得られる^①：

$$\begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ \cdot \\ K_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 & K_0 & \cdot & \cdot & 0 \\ I_2 & I_1 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ I_T & I_{T-1} & \cdot & \cdot & K_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ f_1 \\ \cdot \\ f_1^T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_1 & x_2 K_0 & \cdot & \cdot & 0 \\ I_2 & x_3 I_1 & (x_3 + x_2) K_0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ I_T & x_{T+1} I_{T-1} & (x_T + x_{T-1}) I_{T-1} & \cdot & \sum x_i K_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ f_2 \\ \cdot \\ f_1^T f_2 \end{bmatrix} \quad (28)$$

数式 (28) を以下のように書き換える：

$$\begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ \cdot \\ K_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 & K_0 & \cdot & \cdot & 0 \\ I_2 & I_1 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ I_T & I_{T-1} & \cdot & \cdot & K_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ f_1 \\ \cdot \\ f_1^{T+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_1 & x_2 K_0 & \cdot & \cdot & 0 \\ I_2 & x_3 I_1 & (x_3 + x_2) K_0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ I_T & x_{T+1} I_{T-1} & (x_{T+1} + x_T) I_{T-1} & \cdot & \sum x_i K_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ f_2 \\ \cdot \\ f_1^T f_2 \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$\begin{bmatrix} K_2 \\ K_3 \\ \cdot \\ K_{T+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_2 & I_1 & K_0 & \cdot & 0 \\ I_3 & I_2 & I_1 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ I_{T+1} & I_T & \cdot & \cdot & K_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ f_1 \\ \cdot \\ f_1^{T+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_2 & x_3 I_1 & (x_3 + x_2) K_0 & \cdot & 0 \\ I_3 & x_4 I_2 & (x_4 + x_3) I_1 & (x_4 + x_3 + x_2) K_0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ I_{T+1} & x_{T+2} I_T & (x_{T+2} + x_{T+1}) I_{T-1} & \cdot & \sum x_i K_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ f_2 \\ \cdot \\ f_1^T f_2 \end{bmatrix} \quad (30)$$

$K_t = I_t + (f_1 + f_2 \cdot x_{t+1}) K_{t-1}$ から $K_t - K_{t-1} = I_t - D_t$ が得られる。数式 (30) から数式 (29) を引けば、

^① g_t の平均値 \bar{g} が 0 でない限り、 g_t の平均値を 0 に設定しうる。すなわち、 $g'_t = g_t - \bar{g}$ 。ここでは g'_t の平均値 \bar{g}' は 0 である。式 (28) から式 (31) までの x_t は $x_t = g_t - \bar{g}$ となる。

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} I_2 - D_2 \\ I_3 - D_3 \\ \vdots \\ I_{T+1} - D_{T+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_2 - I_1 & I_1 - K_0 & K_0 & \cdot & 0 \\ I_3 - I_2 & I_2 - I_1 & I_1 - K_0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ I_T - I_{T-1} & I_{T-1} - I_{T-2} & \cdot & I_1 - K_0 & K_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ f_1 \\ \cdot \\ f_1^{T+1} \end{bmatrix} \\
& + \begin{bmatrix} I_2 - I_1 & x_3 I_1 - x_2 K_0 & (x_3 + x_2) K_0 & \cdot & 0 \\ I_3 - I_2 & x_4 I_2 - x_3 I_1 & (x_4 + x_3) I_1 - (x_3 + x_2) K_0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ I_{T+1} - I_T & x_{T+2} I_T - x_{T+1} I_{T-1} & (x_{T+1} + x_T) I_{T-1} - (x_T + x_{T-1}) I_{T-2} & \cdot & \sum x_i K_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ f_2 \\ \cdot \\ f_1^T f_2 \end{bmatrix} \quad (31) \text{ が}
\end{aligned}$$

得られる。

上記のように、モデル (31) の被説明変数は $I_t - D_t$ であって、モデル (26) と同じように、われわれは最尤法で変数 f_1 と f_2 を推計し、数式 (27) から変動可能な資本の減価償却率を得る。

2、反復評価法

より精確にモデル (9) を評価するには、まず m_{t+1} の資本の減価償却率に対する影響を無視して、数式 (27) のような資本の減価償却率と経済成長率との関係を得ることである。ここからモデル (31) を評価すれば数式 (27) が得られ、数式 (27) から変動可能な資本の減価償却率序列 $d_1^0, d_2^0, \dots, d_{T+1}^0$ が得られる。これら資本の減価償却率、資本ストックの初期値と各期における資本の投資から、各期における資本ストックを得られ、数式 $m_{t+1} = I_{t+1}^e / K_t$ から計算して各期の $m_1^0, m_2^0, \dots, m_{T+1}^0$ が得られる。更に m_{t+1} の資本の減価償却率に対する影響を考慮し、資本の減価償却率と経済成長率との関係を数式 (32) のように表現してみる^①：

$$d_t = a + \lambda(g_{t+1} - m_{t+1}) \quad (32)$$

最尤法でモデル (31) を評価すると数式 (32) が得られる。数式 (32) から出発して各期における資本の減価償却率序列 $d_1^1, d_2^1, \dots, d_{T+1}^1$ を得て、これら資本の減価償却率、資本ストックの初期値と各期における資本の投資から、各期における資本ストックが得られる。更に数式 $m_{t+1} = I_{t+1}^e / K_t$ から再計算して各期の $m_1^1, m_2^1, \dots, m_{T+1}^1$ をえる。資本の減価償却率と経済成長率との関係式 (32) を利用して、最尤法を用いて資本の減価償却率モデル (31) を評価すれば数式 (32) が得られる。

上記のような評価方法—反復評価法を繰り返せば、より安定的な傾向に収斂し、モデル (32) が示している現実の資本の減価償却率が得られる。

四、簡単な結論

^①計算から得た m_{t+1} と既知の g_{t+1} から計算して、 $g_{t+1} - m_{t+1}$ を得られる。数式 (27) の g_{t+1} を $g_{t+1} - m_{t+1}$ に書き換えることによってモデル (31) から数式 (32) を推計しうる。

本稿は成長率法と計量法を用いて、初期期間を 1990 年とする我が国の各自治体における資本ストックと、資本に体化された技術進歩水準を含む継続記録法によって資本の減価償却率、経済成長と資本に体化された技術進歩に関する数理モデルを構築し、更に「全局最尤」非線形最尤法で資本の減価償却率モデルを評価し、そこから資本の減価償却率を得た。より精確な可変資本の減価償却率を得るため、われわれは反復評価法を採用し、それを可変資本の減価償却率モデルに適用し、最尤法で安定的に収斂する、各自治体における可変資本の減価償却率モデルを評価し、以下のような結論を得た：資本の減価償却率からみた GDP 成長率係数推定値はポジティブである自治体も、マイナスである自治体もある；これらモデルの変数推定値から各自治体における資本に体化された技術進歩の大きさを得て、それに審級をつけることができる。サンプル数が少ない最尤法の確実性を検証するために、われわれはモンテカルロ法で変数の安定性を評価し、我が国の 31 の自治体での資本の減価償却率に対するモデル分析の結果は信頼できるという結論が得られた。

初期期間が 1990 年である資本ストック、投資額と推定された資本の減価償却率から各自治体 1990-2015 年の資本ストックを推定する。推定された不変資本と可変資本の減価償却率から得た各自治体における資本ストック値に関して、本研究は先行研究と一致するが、先行研究では、各自治体における資本の減価償却率が任意に設定されているか、欠陥のある統計方法が使われている、それに対し、本文が構築する資本の減価償却率、経済成長と資本に体化された技術進歩に関する数理モデルは、各自治体の資本の減価償却を利用して変動可能な資本の減価償却率計量モデル構築し、最尤法で資本の減価償却率モデルを評価し、そこから各自治体の変動可能な資本の減価償却率と資本ストックを得たのである。

本稿の理論的モデルからわかるように、資本の減価償却率と技術進歩と経済成長の間には密接な関係が存在しており、それらの関係をもって計量モデルを構築し、各自治体における資本に体化された技術進歩を推定し、それに審級をつけることができる。推定された資本に体化された技術進歩から見たように、大多数の自治体では、資本の蓄積が効果的に行われている。長期的に見れば、効率性の悪い資本の蓄積は持続的な成長と両立しえないし、資本の減価償却率などマクロ政策による投資額に対する調節をもってしても、それだけでは安定成長の効果は達成しがたい。だから、より安定的で持続可能な経済成長を実現するためには、まず資本に体化された技術進歩を高め、資本蓄積の有効性を高めなければならない。また、資本の減価償却率からみた GDP 成長率係数推定値はポジティブである自治体も、マイナスである自治体もあるのはなぜなのか、といった問題は更なる研究によって解明する必要もある。

参考文献

- ト永祥、靳炎，2002：《中国のRBC：基本の解釈と理論的拡張》，《世界经济》第8期。
- 陈昌兵，2014：《変動可能な減価償却率推計および資本ストックの測定—生産関数に基づく最尤法推計》，《经济研究》第12期。
- 郭庆旺、贾俊雪，2004：《中国の潜在生産高と产出缺口に対する試算》，《经济研究》第5期。
- 黄先海、刘毅群，2006：《物化性技術進歩と我が国における工業の生産率成長》，《数量经济技术经济研究》第4期。
- 刘明兴，2002：《1952年-1999年における中国の經濟成長データ》，北京大学CCER经济发展论坛。
- 林毅夫、刘培林，2003：《労働力单位ごとの資本蓄積と技術進歩に対する經濟發展戰略の影響—中国の経験に基づく実証分析》，《中国社会科学》第4期。
- 林毅夫、任若恩，2007：《東アジア經濟成長モデルに関する論争について》，《经济研究》第8期。
- 金碚，2004：《中国工業の技術イノベーション》，《中国工业经济》第5期。
- 宋海岩、刘涵楠、蒋萍，2003：《改革期における中国総投資の決定要因について》，《世界经济文汇》第1期。
- 孙辉、支大林，2010：《中国各自治体の資本ストックの推計と典型的事例：1978-2008》，《广东金融学院学报》第25卷第3期。
- 孙克，2011：《中国における資本に体化された技術進歩の推計》，《经济科学》第3期。
- 单豪杰，2008：《中国資本ストックKの再推計：1952-2006年》，《数量经济技术经济研究》第10期。
- 宋冬林、王林辉、董直庆，2011：《資本に体化された技術進歩およびそれが經濟成長に対する貢献度(1981-2007)》，《中国社会科学》第2期。
- 单豪杰，2009：《中国資本ストックK的再估算：1952-2006年》，《数量经济技术经济研究》第10期。
- 王小鲁、樊纲，2000：《中国經濟成長的可持续性》，经济科学出版社。
- 王林辉、宋冬林、董直庆，2009：《資本に体化された技術進歩及其对經濟成長的貢献率：先行研究について》，《经济学家》第12期。
- 谢群、潘玉君，2011：《中国内地各自治体の1952-2009年の現物資本ストック推計》，《当代经济》第1期。

易纲、樊纲、李岩，2003《中国の経済成長と全要素生産率に関する理論的思考》，《经济研究》第8期。

张军、吴桂英、张吉鹏，2004：《中国の自治体間における物質的資本ストックの概算：1952-2000》，《经济研究》第10期。

赵志耘、吕冰洋、郭庆旺、贾俊雪，2007：《資本の蓄積と技術進歩の動的融和：中国の経済成長の典型的事例から》，《经济研究》第11期。

郑玉歆，1998：《全要素生産率の測定およびその成長の規律-東アジア成長モデルの論争について》，《数量经济技术经济研究》第10期。

Chow, Gregory C., 1993, "Capital Formation and Economic Growth in China", *The Quarterly Journal of Economics*, vol.108, No.3, pp.809-842.

Diewert, W. Erwin & Wykoff, Frank C., 2007. "Depreciation, Deterioration and Obsolescence when there is Embodied or Disembodied Technical Change," *Economics working papers diewert - 06-11-23-08-38-56*, Vancouver School of Economics, revised 13 Jul 2007.

Epstein, L. & Denny, M., 1980, "Endogenous capital utilization in a short-run production model: Theory and an empirical application," *Journal of Econometrics*, Elsevier, vol. 12(2), pages 189-207, February.

Fisher, Franklin M., 1965, "Embodied Technical Change and the Existence of an Aggregate Capital Stock", *Review of Economic Studies*, Vol.32, PP363-368.

Hall, R. and C. Jones, 1999, "Why Do Some Countries Produce So Much More Output Worker than Other", *Quarterly Journal of Economics*, 114, pp.830-116.

Harry X. Wu, 2011, "Accounting for China's Growth in 1952-2008", *RIETI (Japan) Discussion Paper*.

Hernández, J.A. AND I. Mauleón, 2005: "Economic Estimation of a Variable Rate of Depreciation" *Canaia Paper No.2002-03*.

Hulten, C. R. and F.C. Wykoff. 1996, "Issues in the Measurement of Economic Depreciation: Introductory Remarks", *Economic Inquiry*, 34: 10-23.

Hu, Zuli and Mohsin S. Khan, 1997, "Why is China Growing So Fast?" *IMF Staff Papers*, The International Monetary Fund. Washington, DC.

Hulten, Charles R., 1992, "Growth Accounting When Technical Change is Embodied in Capital", *American Economic Review*, Vol. 82, PP964-980.

Ingmar R. Prucha, 1995, "On the Econometric Estimation of a Constant Rate of Depreciation", *Empirical Economics* 20: 299-302.

Iwata, S., M. Khan, and H. Murao, 2003, "Sources of Economic Growth in East Asia: A

Nonparametric Assessment”, IMF Staff Papers,50(2).

Ingmar R.Prucha,1995,“On the Econometric Estimation of a Constant Rate of Depreciation”,
Empirical Economics 20: 299-302.

Klump, R., Mc Adam, P.and Willm , 2007 , “Factor Substitution and Factor- Augmenting
Technical Progress in the United States: A Normalized Supply- Side System Approach.” Review of
Economics and Statistics, 89, pp.183-192.

Licandro, Omar, Javier Ruiz-Cast illo and Jorge Durán, 2001,“The Measurement of Growth under
Embodied Technical Change”, European University Institute, Working Papers.

Licandro, O., Javier R.and Jorge D., 2001, “The Measurement of Growth under Embodied
Technical Change” [J], European University Institute, Working Paper.

Nadiri, M.I. and Prucha, I.R. (1993), “Estimation of the depreciation rate of physical and R&D
capital in the US total manufacturing sector”, National Bureau of Economic Research, WP 4591.

Ning Huang, and Erwin Diewert,2011,“Estimation of R&D depreciation rates: a suggested
methodology and preliminary application”,Canadian Journal of Economics, Volume 44, Issue 2,
May,,pages 387–412,

Onliner, Stephen D.1993,"Constant Quality Price Change, Depreciation and the Revised: How
big is the Puzzle?"Brooking Papers On Economic Activity, 1994, 2, 73-317.

R.Boucekkine,F.del Rio and O.Licandro,2005 , " Obsolescende and Modernization in the
Growth Process,"Journal of Development Economics,vol.77,pp.153-171.

Solow, Robert M., 1960,"Investment and Technical Progress", in K. Arrow, S.Karlin and
P.Suppes, eds Mathematical Methods in the Social Science, Standford, CA: Stanford University
Press,1959.

Triplett, J.E.1996, “Depreciation in Production Analysis and in Income and Wealth Accounts:
Resolution of an Old Debate”, *Economic Inquiry* 34, 93-115.

Wu Yanrui, 2007, “Capital Stock Estimates for China’s Regional Economies: Results and
Analyses”, UWA Business School, University of Western Australia.

(本稿は中央大学経済研究所公開研究会で発表、報告したものである。)