

DISCUSSION PAPER SERIES

「世界的經濟循環」再考：MMHTC による理論的考察
Rethinking the Economic Cycle in World History: Theoretical Studies Using the
Malthusian Model with Historical Technological Changes

岑 智偉

No.2021-03



京都産業大学大学院経済学研究科
〒603-8555 京都市北区上賀茂本山

Graduate School of Economics
Kyoto Sangyo University
Motoyama-Kamigamo, Kita-ku, Kyoto,
603-8555, Japan

2021/4/19

「世界的経済循環」再考：MMHTC による理論的考察*

岑智偉†

京都産業大学

2021 年 4 月

概要

本論文は紀元後における世界経済成長牽引役の交替を伴う世界的経済変遷を「世界的経済循環」とした上で、「世界的経済循環」を理論的に解明している。

本論文は「世界的経済循環」及び「歴史的中国経済周期」の理論的側面について、歴史的技術変化を伴うマルサスモデル (Malthusian Model with Historical Technological Changes : MMHTC) を用いて説明を行っている。MMHTC はマルサスの停滞から現代成長へ、そして現代成長から定常状態へという紀元後の世界経済史における 2 回の大きな成長経路「転換」を 2 回の大分岐 (それぞれ「大分岐 I」及び「大分岐 II」) として、これらの大分岐の起因と経済史的意義を理論的に説明するものである。本論文は「大分岐 I」及び「大分岐 II」は歴史的技術変化によって達成され、歴史的技術変化はロジスティック的技術周期更新によってもたらされるとする歴史的技術変化を伴うマルサスモデル (MMHTC) を理論展開している。歴史的技術変化は LVC (Lotka-Volterra Competition) モデルにおける「生存型競争」(完全代替型技術競争)、「共存型競争」(補完型技術競争) によって達成されると考える。歴史的技術変化をもたらす経済史的起因を照らし合わせれば、「大分岐 I」は「生存型競争」による技術周期更新がもたらすものであり、「大分岐 II」は「共存型競争」による技術周期更新がもたらすものであると考えられる。

本論文の主な結論は以下の通りである。第 1 に、歴史的技術変化は地球的資源に制約されているが故に、技術周期が更新されるほど、利用可能な地球的資源は少なくなり、よって、歴史的技術変化を新たな経済成長源泉とする長期的限界経済成長率は逡減する。21 世紀以降に現れる「世界的限界経済成長性逡減」(大分岐 II) はそのことを立証しているように思われる。第 2 に、紀元後の世界的経済循環における 2 回の「大分岐」はいずれも中国歴史的経済周期が関わっており、「大分岐 I」では、中国経済は長期衰退期に入り、「大分岐 II」においては、中国は新たな経済周期が始まっている。第 3 に、明清時代の中国は長い寒冷期に入り、清の繁栄期である「康乾盛世」以降は、中国は約 100 年という長い衰退期に入っている。この時期に日本及び欧米諸国は産業革命により「大分岐 I」を経験していた。一方、20 世紀 80 年代以降、これまでの王朝型経済周期と異なる新たな中国経済周期が始まり、それと同時に長期的経済成長という視点から見れば、欧米諸国は Kindleberger (1996) が言う国家周期における下降期に入っており、21 世紀以降の世界経済は「大分岐 II」における「世界的限界経済成長性逡減」という段階に転じていると思われる。「21 世紀世界的経済現象」は「大分岐 II」と新たな中国経済周期とが重なった時の世界的経済現象である。

* 本論文は岑智偉 (2021) 『『経済的経済循環』再考：MMHTC による理論的考察』(『京都産業大学世界問題研究所紀要』第 36 巻) を加筆したものであり、論文の作成に当たり、京都産業大学世界問題研究所の中谷真憲教授、同研究所の藤本典子さんから有益なコメントを頂き、ここに記して感謝の意を申し上げます。有うべき誤りに対する責任は全て筆者にある。

† cen25@cc.kyoto-su.ac.jp.

1 はじめに

紀元後の世界経済には2つの大きな特徴が見られる。即ち、世界成長経路の2回の「大転換」(世界的経済変遷)と、世界経済成長を牽引する国々が時代と共に交替を繰り返していること(世界経済成長牽引役交替)である。本論文はこのような世界経済成長牽引役の交替を伴う世界的経済変遷を「世界的経済循環」とした上で、「世界的経済循環」を理論的に解明する。

まず、世界的経済変遷について見てみよう。紀元後の世界経済史において、2回の成長経路「転換」が見られた。即ち、(1)19世紀に起きたマルサスの停滞(Malthusian Stagnation)から現代成長(Modern Economic Growth)^{*1}への「転換」と、(2)21世紀に現れた現代成長(高度成長)から低成長への「転換」である。Pomeranz(2000)等は第1回の成長経路「転換」を世界経済史における「大分岐(The Great Divergence)」とし、Kremer(1993)やGalor and Weil(2000)らはその「大分岐」を理論モデルで解明しようとしている。一方、第2回の成長経路「転換」について、多くの研究はそれを「21世紀型長期停滞」として解釈している(福田, 2018)。19世紀から20世紀70年代まで、世界経済は確かにマルサスの停滞から現代成長の方向に変わり、日本と欧米諸国はMaddison(2001)が言う「黄金時代(Golden Age)」という高度成長期を経験した。しかし、その後、世界経済成長は緩やかとなり、19世紀から21世紀までの200年超の世界経済を総観すれば、世界経済は収穫逓増的成長ではなくロジスティック的成長経路に辿り着いてきたことは明らかである。経済成長論では定常状態(Steady State)という考え方があるが、「超」長期的な視点から見れば、第2回の成長経路「転換」を長期における世界経済の定常状態への「転換」だと理解するのがより正確ではないかと思われる。

大分岐(The Great Divergence)という用語には、拡散(所得格差の拡大)と分岐(成長経路の転換)という2つの意味が含まれているが、Pomeranz(2000)やGalor and Weil(2000)らが言う「大分岐」は後者の方に焦点を当てているものと思われる。19世紀に起きた第1回の成長経路「転換」を「大分岐」として捉えるなら、21世紀の現代成長から定常状態への成長経路「転換」も「大分岐」として考えることができる。本論文は19世紀の成長経路「転換」を「大分岐 I」とし、21世紀の成長経路「転換」を「大分岐 II」とする。「大分岐 I」は1800年以上の停滞経済から経済成長ないし高度成長への「分岐」であり、「大分岐 II」は現代成長から定常状態への「分岐」である。2つの「大分岐」と前述のロジスティック的な世界経済成長を合わせて考えれば、21世紀以降の世界経済は「長期停滞」に陥っているのではなく、「大分岐 II」における「世界的限界経済成長性逓減」(岑, 2021)という段階に転じているのではないかと思われる。

次に、世界経済成長牽引役の交替についても確認しよう。紀元後において世界経済成長牽引役の交替は2回あり、いずれも2回の「大分岐」と同時期に起きたことは歴史統計で確認されている(岑, 2021)。2回の牽引役交替において中国とアメリカは深く関わっているが、中国について言えば、2回の交替(大分岐)はいずれも中国の経済周期(「歴史的中国经济周期」と重なっている。「大分岐 I」では、中国经济は長期衰退期に入り、「大分岐 II」においては、中国は新たな経済周期が始まっている。「21世紀世界的経済現象」(岑, 2021)は正に新たな中国经济周期と「大分岐 II」とが重なった時の世界的経済現象であると思われる。

本論文は以上のこと、とりわけ世界的経済循環及び歴史的中国经济周期の理論的側面について、以下で展開する歴史的技術変化を伴うマルサスモデル(Malthusian Model with Historical Technological Changes、以下ではMMHTCと略す)で明らかにする。論文は以下のように構成される。第2節は基本モデル(MMHTC)

^{*1}「マルサスの停滞」と「現代成長」の定義についてはGalor(2011)を参照。それに関する歴史的統計はMaddison(2001, 2007)を参照。

を示し、第3節はMMHTCによる世界的経済循環及び中国経済周期について経済史的考察を行う。第4節の「おわりに」では論文の結論をまとめる。

2 歴史的技術変化を伴うマルサスモデル (MMHTC)

この論文では「世界的経済循環」及び「歴史的中国经济周期」の理論的側面について、歴史的技術変化を伴うマルサスモデル (MMHTC、本論文が提示する基本モデル) を用いて説明する。MMHTC はマルサスの停滞から現代成長へ、そして現代成長から定常状態へという紀元後の世界経済史における2回の大きな成長経路「転換」を2回の大分岐 (それぞれ「大分岐 I」及び「大分岐 II」) として、これらの大分岐の起因と経済史的意義を理論的に説明するものである。マルサスの停滞とは、19世紀までの世界的経済現象、即ち、GDP と人口が変動しながら1人当たり GDP 水準は殆ど変わらないという歴史的経済現象である (Malthus, 1798、Galor, 2011)。

2.1 基本モデル

まず、基本モデルを示しておこう。経済は式(1)のように、農業 (または未熟練労働集約型産業) 部門と製造業 (または熟練労働集約型産業) 部門からなるとする。但し、 Y 、 Y_a と Y_m は経済全体、農業部門と製造業部門の産出 (= 所得 = GDP) を表し、 L 、 L_a と L_m は経済全体、農業と製造業の労働人口 (= 人口) を表す。総労働人口に占める農業と製造業の人口はそれぞれ $L_a = (1 - \theta)L$ 、 $L_m = \theta L$ であるとする。

$$Y = Y_m + Y_a; \quad L = L_m + L_a \quad (1)$$

農業部門と製造業部門の生産技術は以下の式(2)の通り、コブ=ダグラス型の生産関数であるとする。農業部門は一般的なマルサスモデルと同様に、未熟練労働 L_a と土地 X_a を生産投入とし、製造業部門の生産投入は熟練労働 L_m と土地以外の物的投入 X_m であるとする。 A_a と A_m はそれぞれ農業部門と製造業部門の技術水準 ($A_a < A_m$) を表す。モデルを単純化するため、2つの生産関数の労働弾力性及び X_a と X_m の弾力性は同じであり*2、 $X_a = X_m \equiv 1$ とする。

$$Y_m = A_m L_m^{1-\varepsilon} \equiv A_m L_m^{1-\varepsilon}; \quad Y_a = A_a L_a^{1-\varepsilon} \equiv A_a L_a^{1-\varepsilon}. \quad (2)$$

但し、 $0 < \varepsilon < 1$ である。2つの部門と経済全体の1人当たり GDP は以下のように定義される。

$$\begin{aligned} y_m \equiv \frac{Y_m}{L_m} &= A_m L_m^{-\varepsilon}; \quad y_a \equiv \frac{Y_a}{L_a} = A_a L_a^{-\varepsilon}; \\ y \equiv \frac{Y}{L} &= \frac{A_m L_m^{1-\varepsilon} + A_a L_a^{1-\varepsilon}}{L} = \frac{(A_m \theta^{1-\varepsilon} + A_a (1-\theta)^{1-\varepsilon}) L^{1-\varepsilon}}{L} \equiv AL^{-\varepsilon} \end{aligned} \quad (3)$$

*2 X_m を物的資本とすると、製造業部門はソロー型の生産技術となる (Solow, 1957)。この場合、Hansen and Prescott (2002) と同様に、 X_a よりも X_m の方が弾力性が高いと仮定する必要がある。何故ならば、一般的に農業部門 (マルサス型経済) は土地集約的であり、製造業部門 (ソロー型経済) は資本集約的であると考えられているからである。同様な考え方として、未熟練労働 L_a よりも熟練労働 L_m の方が弾力性が高いと思われるが、これらは本論で示す基本モデルの本質には影響を与えないため、ここでは改めてこのような仮定を行わない。

よって、経済全体の 1 人当たり GDP の成長率は式 (3) についての時間微分より求められる。

$$\begin{aligned}\frac{\dot{y}}{y} &= \frac{\dot{A}}{A} - \varepsilon \frac{\dot{L}}{L} = \alpha \left(\frac{\dot{A}_m}{A_m} - \frac{\theta}{\alpha} \varepsilon \frac{\dot{L}_m}{L_m} \right) + \beta \left(\frac{\dot{A}_a}{A_a} - \frac{1-\theta}{\beta} \varepsilon \frac{\dot{L}_a}{L_a} \right) \\ &= \alpha \left(\left(\frac{\dot{A}_m}{A_m} - \frac{\dot{A}_a}{A_a} \right) - \frac{\theta}{\alpha} \varepsilon \left(\frac{\dot{L}_m}{L_m} - \frac{\dot{L}_a}{L_a} \right) + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\dot{A}_a}{A_a} - \varepsilon \frac{\dot{L}_a}{L_a} \right) \right)\end{aligned}\quad (4)$$

経済全体の技術変化率 \dot{A}/A と労働増加率 \dot{L}/L (=人口成長率) は以下のように計算される。

$$\begin{aligned}\frac{\dot{A}}{A} &= \frac{\theta^{1-\varepsilon} \dot{A}_m}{A} + \frac{(1-\theta)^{1-\varepsilon} \dot{A}_a}{A} = \frac{\theta^{1-\varepsilon} A_m \dot{A}_m}{A A_m} + \frac{(1-\theta)^{1-\varepsilon} A_a \dot{A}_a}{A A_a} \equiv \alpha \frac{\dot{A}_m}{A_m} + \beta \frac{\dot{A}_a}{A_a} \\ \frac{\dot{L}}{L} &= \frac{\dot{L}_m}{L} + \frac{\dot{L}_a}{L} = \frac{\theta L \dot{L}_m}{L L_m} + \frac{(1-\theta) L \dot{L}_a}{L L_a} = \theta \frac{\dot{L}_m}{L_m} + (1-\theta) \frac{\dot{L}_a}{L_a}\end{aligned}\quad (5)$$

但し、 $\alpha + \beta \equiv (\theta^{1-\varepsilon} A_m)/A + ((1-\theta)^{1-\varepsilon} A_a)/A = (\theta^{1-\varepsilon} A_m + (1-\theta)^{1-\varepsilon} A_a)/A = 1$ である。式 (4) より、経済全体の 1 人当たり GDP の成長可能性は以下の式によって判別される。

$$\frac{\dot{y}}{y} \geq 0 \Leftrightarrow \frac{\dot{A}}{A} \geq \varepsilon \frac{\dot{L}}{L} \Leftrightarrow \frac{\dot{A}_m}{A_m} \geq \frac{\dot{A}_a}{A_a} + \frac{\theta}{\alpha} \varepsilon \left(\frac{\dot{L}_m}{L_m} - \frac{\dot{L}_a}{L_a} \right) - \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\dot{A}_a}{A_a} - \varepsilon \frac{\dot{L}_a}{L_a} \right) \quad (\alpha > \theta) \quad (6)$$

2.2 マルサスの均衡 (マルサスの停滞)

19 世紀までの世界的なマルサスの停滞経済の特徴は、GDP と人口が変動しながら、1 人当たり GDP 水準は全く変わらないことである。Kremer (1993) と Aghion and Howitt (2009) はマルサスの停滞経済を以下の理論モデルで示している*3。Kremer (1993) は人口成長率を 1 人当たり GDP の増加関数とするモデルを考案し、Aghion and Howitt (2009) はそのモデルを更に簡略化し、マルサスの停滞経済を式 (7) のように表現している。式 (3) を考慮し、 $n (= \dot{L}/L)$ を人口成長率とすれば、人口成長率と 1 人当たり GDP の関係は $n = n(y) = n(AL^{-\varepsilon})$ と式 (7) で示される。図 1-1 の $n(y)$ 曲線*4は式 (7) を図示したものである。

$$n'(y) > 0; \quad n'(0) = n^{\min} < 0; \quad n'(\infty) = n^{\max} > 0. \quad (7)$$

式 (7) の右の 2 つの式は「1 人当たり GDP 水準が低くなりゼロに近づくと、人口成長率はある負の値 ($n^{\min} < 0$) に収斂し、1 人当たり GDP 水準が無限に大きくなると、人口成長率はある正の境界値 ($n^{\max} > 0$) に収束する」ことを意味する。図 1-1 の $n(y)$ 曲線はそれを反映している。マルサスの均衡は $n(y^*) = 0$ で示される。式 (3) を考慮すれば、マルサスの均衡における 1 人当たり GDP は $y^* = A(L^*)$ (図 1-1) のように求められる。

*3 Miller and Upton (1986) はより詳細にマルサスの停滞経済を数理的に示しているが、マルサスモデルの説得力については懐疑的である。

*4 Aghion and Howitt (2009 : Figure 10.1) を参照。

(図1)

式(6)、式(7)、図1^{*5}を用いれば、マルサスの均衡が動学的な意味で安定的であることを確認できる。マルサスの停滞経済における技術水準は19世紀の産業革命以降の技術水準よりも遥かに低いため、人口成長率(n)と1人当たりGDP成長率(\dot{y}/y)の関係は反比例的な関係であると考えられる^{*6}。式(6)、式(7)と図1を用いて確認しよう。マルサスの停滞経済の技術水準を A_1 とし、産業革命以降の技術水準を A_2 、 A_3 とする^{*7}。マルサスの停滞経済において、技術水準(A_1)は人口成長率($n(y)$ 曲線)より低く(図1-1)そのような状態では、1人当たりGDP成長率は式(6)のように、 $\dot{y}/y = \dot{A}/A - \varepsilon n(y) < 0$ となりうる。この場合、図1-1で示されているように、 $y > y^*$ であれば、($n'(y)$ より)人口成長率が上昇することにより^{*8}、1人当たりGDP成長率は下がり、 y は y^* に収束する。一方、 $y < y^*$ であれば、人口成長率が下がることにより、1人当たりGDP成長率は上昇し、 y は y^* に収束する。よって、技術水準が A_1 である限り、マルサスの均衡における1人当たりGDP水準(y^*)は変わらず、均衡は安定的である(以下ではこれを「マルサスの安定性」と称す)。このような「安定的」なマルサスの均衡は「マルサスの罫」とも言われている。Maddison(2001, 2007)は歴史的統計(Maddison Historical Statistics: MHS)を用いて、紀元から産業革命までの約1800年において、世界の1人当たりGDP水準が殆ど変わらなかったことを示している。

2.3 歴史的技術変化を伴うマルサスモデル

マルサスの均衡(マルサスの停滞)から脱出する方法の1つは技術変化(Technological Change)である。Kremer(1993)、Jones(1999)、Pomeranz(2000)、Galor and Weil(2000)、Hansen and Prescott(2002)、Acemoglu *et. al* (2005)、Clark(2007)、Galor and Mountford(2006, 2008)、Galor(2005, 2011)は産業革命前後に起きた経済史的技術変化^{*9}を背景に、様々な角度から産業革命後のマルサスの停滞から現代成長への成長経路「転換」とその起因を解明している。Pomeranz(2000)とClark(2007)は世界経済史の視点から、Maddison(2001, 2007)の歴史的統計や経済史料を用いて、産業革命後の経済成長経路「転換」を世界経済史における「大分岐(The Great Divergence)」として捉え、Kremer(1993)らはその「大分岐」(以下では「大分岐I」とする)を理論モデル(主に経済成長論)で解析している。前述のように、大分岐(The Great Divergence)という用語には2つの意味が含まれている。即ち、拡散(所得格差の拡大)と分岐(成長経路の転換)である。理論モデル分析の多くは歴史的成長経路の転換(大分岐I)の解明に焦点を当てている。

Mokyr(1992)は成長源泉により「近代世界経済成長」を次の3タイプに分類している。即ち、(1)貿易や国際分業による「スミス型成長(Smithian Growth)」、(2)資本蓄積による「ソロー型成長(Solovian Growth)」

^{*5} 図1-1は基本モデル(式(6)~式(8))を図で示したものであり、図1-2はロジスティック技術周期(式(8))を図示したものである。

^{*6} Aghion and Howitt(2009: Chap.10)を参照。

^{*7} MMHTCはロジスティック的技術周期を想定している。図1-1のロジスティック曲線 $A_1 \sim A_3$ はそれぞれの段階のロジスティック的技術周期を描いている。ロジスティック的技術周期については2.3節で詳しく説明する。

^{*8} Malthus(1798)は人口成長率が出生率と死亡率の差で決まると考えている。マルサスの停滞経済では、 y が y^* より大きくなることは、生活水準が改善されることを意味する。よって、出生率が死亡率を上回り、人口成長率が上昇する。逆の場合は逆となる。Miller and Upton(1986: Chap.1)とClark(2007: Chap.2)は簡単なモデルでそのことを示している。

^{*9} 「経済史的技術変化」とは19世紀産業革命以降、最初に起きた世界的に大きな技術進歩のことである。North(1981)とToffler(1981)はそれを「第2次経済革命(Second Economic Revolution)」と「第2の波(The Second Wave)」と呼んでいる。

と(3)技術革新による「シュンペーター型成長 (Schumpeterian Growth)」である^{*10}。Kremer (1993)らの理論研究をその分類に当て嵌めるなら、Acemoglu *et.al* (2005)とGalor and Mountford (2006、2008)は「スミス型成長」、Hansen and Prescott (2002)は「ソロー型成長」、Kremer (1993)やJones (1999)とGalor and Weil (2000)は「シュンペーター型成長」に該当する分析だと思われる。Hansen and Prescott (2002)は技術を外生変数としながら、「大分岐 I」はマルサス型生産技術 (土地集約的) からソロー型生産技術 (資本集約的) への技術変化がもたらした経済史的現象であると分析している^{*11}。一方、Jones (1999)とGalor and Weil (2000)は技術変化を内生的に捉えながら、「大分岐 I」を世界成長経路における歴史的な動学移行過程 (Transitional Dynamics) として数的に示している。技術変化の起因については、Hansen and Prescott (2002)は資本蓄積、Jones (1999)は知識蓄積、Galor and Weil (2000)は教育や出生率変化による人口転換 (Demographic Transition) であると考えている。

Jones (1999)やAghion and Howitt (2009)、Galor and Weil (2000)の分析は1980年代から始まった内生的成長論 (Endogenous Growth Theory)^{*12}を理論背景に、知識蓄積による収穫逓増的成長の可能性を示唆するものである。しかし、この考え方では21世紀に起きた「世界的限界経済成長性逓減」現象、即ち「大分岐 II」を説明できない。2回の「大分岐」を整合的に説明できるように、この論文は「大分岐 I」と「大分岐 II」をもたらす起因を歴史的技術変化 (Historical Technological Change)^{*13}とし、歴史的技術変化を伴うマルサスモデル (MMHTC) を用いて、2回の「大分岐」を包括的に考える「世界的経済循環」を理論的に説明する。

20世紀50年代からGriliches (1957)とMansfield (1961)は既にロジスティック的成長 (または技術変化) の考え方を農業開発と企業間技術拡散の分析に適用している。Kindleberger (1996)はロジスティック的な国家周期 (National Cycle) を想定しながら、国家周期と経済覇権 (Economic Primacy) の関係を政治学的に分析している。一方、Chen (2014)はロジスティック的成長関数をモデル基礎とするロトカ・ヴォルテラの競争 (Lotka-Volterra Competition; 以下ではLVCと略す) モデル^{*14}を応用した「代謝成長論 (Metabolic Growth Theory)」を考案した。Chen (2014)はSmith (1776)の「分業の市場制限」やMalthus (1798)の「人口増加の自然制約」を理論的根拠とし、LVCモデルを技術競争分析に適用しながら、技術競争による技術周期更新を伴う代謝的な成長モデルを構築し分析を行っている。本論文はAghion and Howitt (2009)のマルサスの停滞モデルとChen (2014)の技術競争による技術周期更新モデルを理論的背景としながら、マルサスの停滞から現代成長、そして現代成長から定常状態へという2回の「大分岐」の理論的側面を、以下で展開する歴史的技術変化を伴うマルサスモデル (MMHTC) で示す。LVCモデルと代謝成長モデルの最も重要な理論構成は環境収容力 (Carrying Capacity) である。以下で示すように、環境収容力の設定と解釈について、MMHTCはこれらのモデルと異なる。MMHTCにおける技術変化 (ロジスティック技術周期) は以下の式

^{*10} Mokyr and Voth (2010)は1990年代から始まったマクロ経済学 (主に経済成長論) 研究の一部は専ら歴史的な長期経済成長率の内生的決定要因に焦点を当てていると総括している。

^{*11} Hansen and Prescott (2002)のProposition2を参照。

^{*12} 内生的経済成長論については、Aghion and Howitt (1997)や岑 (2104)を参照。

^{*13} 歴史的技術変化とはMMHTCで定義したLVC型技術競争がもたらす技術周期更新のことである。注15を参照。

^{*14} LVCモデルについてはHaberman (1977)とGotelli (2008: Chap.5)を参照。

(8) で示される^{*15}。MMHTC は図 1 と式 (6) ~ 式 (8) によって表される^{*16}。

$$\frac{dA_{j,\tau}}{dt} \equiv \dot{A}_{j,\tau} = f(A_{j,\tau}) = r_{j,\tau} A_{j,\tau} (\Gamma_{j,\tau} - \mu_{ji} A_{i,\tau} - A_{j,\tau}) \equiv r_{j,\tau} A_{j,\tau} (\tilde{A}_{j,\tau} - A_{j,\tau}) \quad (j \neq i) \quad (8)$$

$\Gamma_{j,\tau}$ は LVC モデルの環境収容力に相当するが、後に説明するように、MMHTC では $\Gamma_{j,\tau}$ を制約された時の最高技術水準としている^{*17}。 $A_{j,\tau}$ と $A_{i,\tau}$ はそれぞれ τ 期における技術水準 j と技術水準 i を表し、 $A_{j,\tau}$ ($\equiv dA_{j,\tau}/d\tau$) は $A_{j,\tau}$ の時間微分である。 $r_{j,\tau}$ は外生的技術成長率、 μ_{ji} ($0 < \mu_{ji} < 1$) は技術 i の技術 j に対する影響力 (代替率) を表す^{*18}。式 (8) はロジスティック的の微分方程式であり、 $r_{j,\tau}$ が上昇すると共に $A_{j,\tau}$ は大きくなる一方、 $A_{j,\tau}$ は自分の大きさにも制約されることを意味する。なお、 $\dot{A}_{j,\tau}$ と $A_{j,\tau}$ は凹関数 (Concave Function) 的關係 (図 1-2) である。 $\dot{A}_{j,\tau}$ と $r_{j,\tau}$ 、 $A_{j,\tau}$ の關係は式 (9) によって整理される。

$$\dot{A}_{j,\tau} = \frac{r_{j,\tau}(1-\varphi)}{\varphi} (\varphi \tilde{A}_{j,\tau})^2 \equiv \frac{r_{j,\tau}(1-\varphi)}{\varphi} A_{j,\tau}^2 = \xi (r_{j,\tau}, \varphi, \tilde{A}_{j,\tau}) \quad (9)$$

以上をまとめて、以下の命題が得られる^{*19}。

命題 1 $A_{j,\tau}$ は $r_{j,\tau}$ が上昇すると共に大きくなる一方、自分の大きさ ($A_{j,\tau} = \varphi \tilde{A}_{j,\tau}$; $0 \leq \varphi \leq 1$) にも制約される。 $\varphi = 0$ 及び $\varphi = 1$ において、 $A_{j,\tau}$ は定常状態 ($\dot{A}_{j,\tau} = 0$) となり、 $\varphi = 0.5$ ($A_{j,\tau} = \tilde{A}_{j,\tau}/2$) では、 $A_{j,\tau}$ は最大となる。

式 (9) より、 $A_{j,\tau}$ の変化率 $a_{j,\tau}$ は以下のように求められる。

^{*15} Chen (2014) は技術変化も生態的変動と同様に、ロジスティックな「技術生命周期 (Technology Life Cycle)_J (幼稚 → 成長 → 飽和 → 衰退) があり、「技術生命周期」(以下では技術周期とする) の「衰退」(技術周期の移り変わり = 技術周期の更新、以下では技術周期更新とする) は LVC 型技術競争によってもたらされ、技術周期更新により経済は代謝的に成長していく (代謝的成長) と説明している。MMHTC は Chen (2014) が言う技術周期更新を歴史的技術変化 (Historical Technological Changes) としながら、技術周期は式 (8) のようなロジスティック関数 (LVC モデル) で表され、技術周期更新 (技術代替) は LVC モデルにおける「生存的競争」または「共存型競争」の「技術競争」の結果として定義し、歴史的技術変化がもたらす 2 回の大分岐 (大分岐 I 及び大分岐 II) を理論モデルで示している。「生存的競争」と「共存型競争」については注 18 と Gotelli (2008) を参照。

^{*16} Aghion and Howitt (2009) は式 (6) と同様な判別式、即ち、 $\dot{y}/y = \dot{A}/A - \varepsilon n(y)$ を用いて、収穫増成長の可能性を含め、内生的技術変化によるマルサスの停滞からの脱出 (「大分岐 I₁」) を内生的成長論の枠組で解説している。これに対し、MMHTC は技術変化をロジスティックな技術周期更新 (歴史的技術変化) として定義した上、「大分岐 I」及び「大分岐 II」は歴史的技術変化によってもたらされると考える。なお、技術周期更新は式 (8) ~ 式 (16) で示し、理論モデル体系は式 (6) ~ (17) によってまとめられる。

^{*17} 後に示されるように、この設定により、MMHTC は LVC モデルや代謝成長モデルと異なる。

^{*18} LVC モデルでは、 $r_{j,\tau}$ を内的自然増加率 (intrinsic growth rate) とし、 μ_{ji} を競争係数 (competition coefficient) と呼んでいる (Gotelli, 2008)。 μ_{ji} について、Gotelli (2008) は更に細かく解説している。例えば、 $\mu_{ji} = 0$ 、 $\mu_{ij} = 1$ ($j \neq i$) であれば、競争は「完全代替型」競争 (i は j によって完全に代替される) となり、 $\mu_{ji} = \mu_{ij}$ であれば、競争は「安定的共存型 (stable coexistence)」競争となる。一方、 $\mu_{ji} > 1$ であれば、種間競争 (interspecific competition) が支配的であり、 $\mu_{ji} < 1$ であれば、種内競争 (intraspecific competition) が支配的となる。本論文は、「完全代替型」競争を「生存型競争」とし、「安定的共存型」競争を「共存型競争」とする。Chen (2014) は技術周期更新を「共存型競争」の結果として考えているが、MMHTC は歴史的技術変化 (技術周期更新) を「生存型競争」の結果 (「大分岐 I₁」) 並びに「共存型競争」の結果 (「大分岐 II₁」) として定義する。その経済史的起因については第 3 節で説明する。

^{*19} 図 1-2、 $A_{j,\tau} = \varphi \tilde{A}_{j,\tau}$ と式 (8) を用いて命題 1 を確認できる。 $\varphi = 0$ であれば、 $A_{j,\tau} = 0$ より、 $\dot{A}_{j,\tau} = 0$ となり、 $\varphi = 1$ であれば、 $A_{j,\tau} = \tilde{A}_{j,\tau}$ より、 $\dot{A}_{j,\tau} = 0$ となる。よって、 $\varphi = 0$ ($A_{j,\tau} = 0$) 及び $\varphi = 1$ ($A_{j,\tau} = \tilde{A}_{j,\tau}$) においては、 $A_{j,\tau}$ は定常状態 ($\dot{A}_{j,\tau} = 0$) となる。動学的な意味では、 $A_{j,\tau} = 0$ は不安定的であり、 $A_{j,\tau} = \tilde{A}_{j,\tau}$ は安定的である。一方、 $0 < \varphi < 1$ の領域では、 $f'(A_{j,\tau}) > 0$ 、 $f''(A_{j,\tau}) < 0$ より、 $\dot{A}_{j,\tau}$ は $A_{j,\tau}$ に対し凹 (Concave) となり、 $f'(A_{j,\tau}) = r_{j,\tau} (\tilde{A}_{j,\tau} - 2A_{j,\tau}) = 0$ より、 $A_{j,\tau} = A_{j,\tau}^* = \tilde{A}_{j,\tau}/2$ ($\varphi = 0.5$) では、 $\dot{A}_{j,\tau}$ は最大となる。 $\dot{A}_{j,\tau}$ の最大値は $\dot{A}_{j,\tau}^{\max} = r_{j,\tau} A_{j,\tau}^{*2}$ となる。

$$a_{j,\tau} \equiv \frac{\dot{A}_{j,\tau}}{A_{j,\tau}} = \frac{r_{j,\tau}(1-\varphi)}{\varphi} \varphi \tilde{A}_{j,\tau} \equiv \omega A_{j,\tau} \quad (10)$$

$a_{j,\tau}$ も $r_{j,\tau}$ 、 φ と $A_{j,\tau}$ に依存している。 $a_{j,\tau}$ と $A_{j,\tau}$ の関係は以下の式によって判別される*20。

$$\omega \equiv \frac{r_{j,\tau}(1-\varphi)}{\varphi} \geq 1 \Leftrightarrow a_{j,\tau} \geq A_{j,\tau} \quad (11)$$

Aghion and Howitt (2009) や Jones (1999) とは異なり、MMHTC における技術変化率 $a_{j,\tau}$ はロジスティック関数の性質を有し、 $A_{j,\tau}$ が大きくなると共に $a_{j,\tau}$ は小さくなっていく*21。

図 1-1 で示されているように、MMHTC では「大分岐 I」は y^* から y^{**} へのシフトによって達成されるものとし、それをもたらすのは歴史的技術変化 ($A_{1,\tau}$ から $A_{2,\tau}$ への変化)*22 であると考えている*23。一方、MMHTC では $A_{1,\tau}$ から $A_{2,\tau}$ への変化 (歴史的技術変化 = 技術周期更新) はロトカ・ヴォルテラの競争 (LVC) の結果として考える*24。 $i = 1$ 、 $j = 2$ とし、「競争的排除則 (The Principle of Competitive Exclusion)」を考慮すれば、式 (8) は式 (12) のように表すことができる*25。

$$\begin{aligned} \frac{\dot{A}_{1,\tau}}{A_{1,\tau}} &= r_{1,\tau} (\Gamma_{1,\tau} - \mu_{12} A_{2,\tau} - A_{1,\tau}) \approx r_{1,\tau} (\Gamma_{1,\tau} - \mu_{12} \Gamma_{2,\tau}) \quad (A_{1,\tau} \approx 0; A_{2,\tau} \approx \Gamma_{2,\tau}) \\ \frac{\dot{A}_{2,\tau}}{A_{2,\tau}} &= r_{2,\tau} (\Gamma_{2,\tau} - \mu_{21} A_{1,\tau} - A_{2,\tau}) \approx r_{2,\tau} (\Gamma_{2,\tau} - \mu_{21} \Gamma_{1,\tau}) \quad (A_{2,\tau} \approx 0; A_{1,\tau} \approx \Gamma_{1,\tau}) \end{aligned} \quad (12)$$

競争的排除則によれば、ある種 (例えば、技術 $A_{2,\tau}$) が自分にとって最も不利な競争環境 ($A_{2,\tau} \approx 0$; $A_{1,\tau} \approx \Gamma_{1,\tau}$) の中でも勝ち抜ける ($\dot{A}_{2,\tau}/A_{2,\tau} > 0$) なら、その種 (技術 $A_{2,\tau}$) はその競争の勝者となる。LVC では「生存型競争」($\dot{A}_{1,\tau}/A_{1,\tau} \leq 0$ 、 $\dot{A}_{2,\tau}/A_{2,\tau} > 0$) と「共存型競争」($\dot{A}_{1,\tau}/A_{1,\tau} > 0$ 、 $\dot{A}_{2,\tau}/A_{2,\tau} > 0$) がある*26。技術更新は一般的に技術代替により達成されると考えられている*27。よって、MMHTC はこれらの考え方と同様に、「大分岐 I」をもたらし歴史的技術変化 (技術周期更新) は「生存型競争」(完全代替型競争) による技術代替によって達成されるものとする*28。競争的排除則を適用し、LVC に従う式 (12) にお

*20 $A_{j,\tau}$ は技術水準に関わる様々な指標として考えられる。例えば、1000 人当たりの技術者数はその 1 つである。

*21 式 (5) において、 $j = m, a$ とし、生存型競争 (LVC モデル) を考えれば、 $\dot{A}/A = \alpha \dot{A}_m/A_m$ ($\dot{A}_m/A_m > 0$ 、 $\dot{A}_a/A_a \leq 0$) となりうる。 \dot{A}_m/A_m はロジスティック関数の性質を有すれば、式 (9) ~ 式 (11) の性質は式 (4) ~ 式 (6) にも適用される。

*22 歴史的技術変化は図 1-1 におけるロジスティック技術周期曲線のシフト、即ち $A_{1,\tau}$ から $A_{2,\tau}$ へ ($A_{2,\tau}$ から $A_{3,\tau} + A_{2,\tau}$ へ) のシフトによって示される。Griliches (1957) と Mansfield (1961) も同様なグラフ (ロジスティックな技術変化) を 19 世紀 ~ 20 世紀半ばの経済データで示している。

*23 「大分岐 II」についても同様に考えられる。即ち、「大分岐 II」は y^{**} から y^{***} へのシフトによって達成され、それをもたらすものは新たな歴史的技術変化 ($A_{2,\tau}$ から $A_{3,\tau} + A_{2,\tau}$ への変化) である。

*24 注 18 を参照。

*25 Gotelli (2008 : Chap.5) を参照。

*26 注 18、Gotelli (2008) の Chap.5 及び Table 5.1 を参照。

*27 技術更新は技術代替によって達成されるという考え方として、Schumpeter (1942) の「創造的破壊 (Creative Destruction)」が挙げられる。Aghion and Howitt (1997 : Chap.2) や Barro and Sala-I-Martin (2004 : Chap.7) は内生的技術変化が技術代替によって達成されることを Schumpeterian Models (独占的競争モデル) で示している。

*28 ここで言う「生存型競争」は Schumpeterian Models (独占的競争モデル) のような経済的競争ではなく、LVC 型技術競争 = 「生態的」な技術代替のことを意味する。一方、「大分岐 II」をもたらし歴史的技術変化は技術変化の継続性や地球的資源制約等により補完型競争としての「共存型競争」によるものと考え、「共存型競争」では独占的競争の要素が含まれている。

いて、 $A_{1,\tau}$ を伝統技術 (= 旧技術周期) $A_{2,\tau}$ を近代工業技術 (= 新技術周期) とし、且つ、 $\dot{A}_{1,\tau}/A_{1,\tau} \leq 0$ 、 $\dot{A}_{2,\tau}/A_{2,\tau} > 0$ とすれば、 $A_{2,\tau}$ は LVC 型技術競争から「勝ち抜いた」時の新技術 (= 近代工業技術) となり、伝統技術 $A_{1,\tau}$ は近代工業技術 $A_{2,\tau}$ によって完全に代替される。MMHTC では「大分岐 I」はこのような完全な技術代替、即ち歴史的技術変化 (技術周期更新) によってもたらされるものとする。 $j = 2$ とする式 (8) を解くと、近代工業技術 $A_{2,\tau}$ は以下のように求められる*29。

$$A_{2,\tau} = \frac{A_{2,0}(\Gamma_{2,\tau} - \mu_{21}A_{1,\tau})}{A_{2,0} + (\Gamma_{2,\tau} - \mu_{21}A_{1,\tau} - A_{2,0})e^{-\tau_2,\tau\tau}} \equiv \frac{\tilde{A}_{2,\tau}}{1 + (\tilde{A}_{2,\tau}/A_{2,0} - 1)e^{-\tau_2,\tau\tau}} \quad (13)$$

マルサスの停滞時代、マルサスの停滞から現代成長への「転換」期 (「大分岐 I」) そして現代成長から定常状態への「転換」期 (「大分岐 II」) の時間表記をそれぞれ $\tau = t$ 、 $\tau = t + 1$ と $\tau = t + 2$ とし、それぞれの時代の技術水準 (技術周期) 及び経済を含む関連変数の水準の表記を $j = 1, 2, 3$ とする。解はロジスティック関数であり、以下の式 (14) のように、時間と共に $A_{2,t+1}$ は $\tilde{A}_{2,t+1}$ に収束していくが、「生存型競争」(LVC 型技術競争) がもたらす競争均衡は $\tilde{A}_{2,t+1} = A_{2,t+1}^* = \Gamma_{2,t+1}$ となり、均衡は動学的な意味で安定的である*30。モデル構造的に、 $A_{2,t+1}^*$ は LVC モデルの環境収容力、代謝成長モデルの「有効資源制約 (Effective Resource Limits)」*31に相当するが、式 (14) のように、 $A_{2,t+1}^*$ の定義はこれらのモデルと全く異なっている。

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} A_{2,t+1} = A_{2,t+1}^* = \Gamma_{2,t+1} = \delta_{2,t+1} \mathbb{E} = \left(\left(1 - \sum_{z=1, \tau=t-\lambda}^{\gamma+1, t+1} \eta_{z,\tau} \right) - \sum_{q=3, \tau=t+1}^{\zeta-2, t+T} \delta_{q,\tau} \right) \mathbb{E} \quad (14)$$

$A_{2,t+1}^* = \Gamma_{2,t+1}$ は「生存型競争」(LVC 型技術競争) から「勝ち抜いた」 $\tau = t + 1$ 期における新技術の最高水準*32を意味するが、同時に地球資源にも制約されている。地球資源制約は以下の式で表される。

$$(\delta_{1,t} + \delta_{2,t+1} \cdots + \delta_{\zeta, t+T} + \eta_{1, t-\lambda} + \cdots + \eta_{\gamma, t}) \mathbb{E} = \left(\sum_{q=1, \tau=t}^{\zeta, t+T} \delta_{q,\tau} + \sum_{z=1, \tau=t-\lambda}^{\gamma, t} \eta_{z,\tau} \right) \mathbb{E} \equiv \mathbb{E} \quad (15)$$

ここで、 \mathbb{E} は地球規模の環境収容力 (知識や人的資本と物的資源を含め利用可能な地球資源の総量; 以下では地球資源とする) を表し、 $\delta_{j,\tau}$ はその「使用率」または「発見率」を表す。 $A_{j,\tau} = A_{j,\tau}^*$ は地球資源を「利用」または「発見」すること ($\delta_{j,\tau} \mathbb{E}$) によって達成されるものとする。よって、 $\delta_{j,\tau}$ を大きくするほど、 $A_{j,\tau}$ は「勝ち抜く」新技術 ($A_{j,\tau}^*$) となる可能性が高くなる。一方、 $\eta_{z,\tau}$ は「淘汰」(代替) された技術に関わる経済活動に「使用」されていた地球資源の「使用率」、即ち地球資源の「償却率」を表す。よって、 $\tau = t$ 期における地球資源の制約は $\left(\sum_{q=1, \tau=t}^{\zeta, t+T} \delta_{q,\tau} \right) \mathbb{E} = \left(1 - \sum_{z=1, \tau=t-\lambda}^{\gamma, t} \eta_{z,\tau} \right) \mathbb{E}$ となる (式 (15))。但し、 $\left(\sum_{q=1, \tau=t}^{\zeta, t+T} \delta_{q,\tau} \right) \mathbb{E}$ は t 期から $t + T$ 期までの利用可能な地球資源を表し、 $\left(\sum_{z=1, \tau=t-\lambda}^{\gamma, t} \eta_{z,\tau} \right) \mathbb{E}$ は $t - \lambda$ 期から t 期までに「淘汰」された技術に関わる地球資源の「償却」分を表す。 $A_{2,t+1}^*$ は地球資源を「利用」(「発見」) することによって達成されると考えているため、「大分岐 I」をもたらした歴史

*29 部分分数分解法を用いれば、式 (8) を簡単に解ける。詳しくは Haberman (1977) を参照。

*30 Gotelli (2008 : Figure 5.6) を参照。

*31 Chen (2014) は有効資源制約 C_i を $C_i = N_i - R_i/k_i$ として定義している。 N_i と k_i はそれぞれ LVC モデルにおける環境収容力と内的自然増加率に相当するが、 R_i は退出率 (exit rate) を表す。この設定では、 $R_i < k_i$ であれば、 $C_i < N_i$ となり $R_i > k_i$ 、且つ R_i が十分に大きくなれば (例えば、 $k_i N_i = R_i$) C_i は 0 に近づき、 i 種の技術は消えてしまう。

32 ロジスティック関数の性質により、「生存型競争」均衡 $\tilde{A}_{2,t+1} = A_{2,t+1}^$ は $A_{2,t+1}$ の最大境界値となる。

の技術変化（技術周期更新）後の地球的資源の制約は式（14）の通りとなる。即ち、 $\tau = t + 1$ において、 $\delta_{1,t}\mathbb{E} = \eta_{\gamma+1,t+1}\mathbb{E}$ となるため、 $\gamma + 1$ は「淘汰」された $A_{1,\tau=t+1}$ を含む旧技術に使われていた地球的資源の「償却」分 $\left(\sum_{z=1,\tau=t-\lambda}^{\gamma+1,t+1}\eta_{z,\tau}\right)\mathbb{E} = \left(\sum_{z=1,\tau=t-\lambda}^{\gamma,t}\eta_{z,\tau} + \eta_{\gamma+1,t+1}\right)\mathbb{E}$ を表し、 $\zeta - 2$ は $A_{2,t+1}^*$ をもたらすための新たな地球的資源の「使用」分と「償却」分 $\left(\sum_{q=3,\tau=t+1}^{\zeta-2,t+T}\delta_{q,\tau}\right)\mathbb{E} = \left(\sum_{q=1,\tau=t}^{\zeta,t+T}\delta_{q,\tau} - \delta_{2,t+1} - \delta_{1,t}\right)\mathbb{E}$ を表す。式（15）のように、どの段階の歴史的技術変化も「使用率」（「発見率」）及び「償却率」と地球的資源に制約される。各段階における新技術は地球的資源の「使用」または「発見」によって達成されるが故に、新たな技術（技術周期）がもたらされるほど、利用可能な地球的資源は少なくなり、よって、歴史的技術変化を新たな経済成長源泉とする長期的限界経済成長率は逡減する。21世紀以降に現れる「世界的限界経済成長性逡減」（大分岐II）は正にそのことを立証しているように思われる。

$A_{2,t+1}^*$ を「有効技術制約（Effective Technical Constraints）」と呼ぼう。 $A_{2,t+1}^*$ は $\tau = t + 1$ 期における制約された最高技術水準であり、伝統技術 $A_{1,t+1}$ を代替した結果であるが、その結果をもたらすには、更に以下の条件式が成立していることが必要である^{*33}。

$$\Gamma_{2,t+1} > \frac{\Gamma_{1,t+1}}{\mu_{12}} > \mu_{21}\Gamma_{1,t+1} \Leftrightarrow \delta_{2,t+1} > \frac{\delta_{1,t+1}}{\mu_{12}} > \mu_{21}\delta_{1,t+1} \quad (\delta_{1,t} < \delta_{2,t+1} \cdots < \delta_{\zeta,t+T}) \quad (16)$$

式（16）は、新技術（＝近代工業技術）が伝統技術を代替するには、新技術に対する「発見率」が伝統技術の「使用率」を上回る、即ち、 $\delta_{2,t+1} > \delta_{1,t+1}/\mu_{12} > \mu_{21}\delta_{1,t+1}$ でなければ達成できないことを意味する^{*34}。一方、新技術の「発見率」を表す $\delta_{2,t+1}$ が内生的に決められるものとすれば、式（14）より、 $A_{2,t+1}^*$ も内生的に決定されると考えられる^{*35}。新技術に対する「発見率」が上がれば、最大の新技術水準 $A_{2,t+1}^*$ も高くなる（ $\partial A_{2,t+1}^*/\partial \delta_{2,t+1} > 0$ ）しかしその一方、式（14）と式（15）で示されているように、 $A_{2,t+1}^*$ は地球的資源に制約されているため、Jones（1999）らの分析のように、知識蓄積による収穫逡増的経済成長はできない^{*36}。よって、式（14）～式（16）は、伝統技術を代替し新技術を生み出す（技術革新する）には、より多くの地球的資源を「発見」し「利用」しなければ達成できず、技術周期が更新されるほど、利用可能な地球的資源は少なくなることを示唆する。以上を整理すると、以下の命題が得られる。

命題 2 $A_{2,t+1}^*$ は歴史的技術変化により達成された制約された時の最高技術水準（式（14））であり、新たな技術周期をもたらすには、より多くの地球的資源を「利用」しなければ達成できず（式（16））、技術周期が更新されるほど、地球的資源は少なくなる（式（15））。

^{*33} 新技術 $A_{2,t+1}$ が伝統技術 $A_{1,t+1}$ を代替しうる条件として、 $\Gamma_{1,t+1} < \mu_{12}\Gamma_{2,t+1}$ ($\delta_{1,\tau} < \mu_{12}\delta_{2,t+1}$) 及び $\Gamma_{2,t+1} > \mu_{21}\Gamma_{1,t+1}$ ($\delta_{2,t+1} > \mu_{21}\delta_{1,t+1}$) が満たされることである。この条件を整理すれば、式（16）が得られる。Gotelli（2008：Chap.5）を参照。

^{*34} $0 < \mu_{12}, \mu_{21} < 1$ （例えば、 $\delta_{1,\tau} = 0.3$ 、 $\mu_{12} = 0.9$ 、 $\mu_{21} = 0.7$ ）とすれば、式（16）の条件式は $\delta_{2,\tau} > 0.33 > 0.21$ となる。式（16）を Schumpeterian Models（独占的競争モデル）に適用して考えることもできる。例えば、 μ_{ji} を技術競争率とし、 $\delta_{j,\tau}$ を技術開発の関係費用比率とすれば、 μ_{12} が高いほど、 $A_{2,\tau}$ の開発費用が相対的に安くなり、 $A_{2,\tau}$ は市場を支配しやすくなる。一方、 μ_{21} が高ければ、 $A_{2,\tau}$ が市場を支配するのにより高い開発費用が必要となるため、競争は激しくなる。MMHTC では技術競争による技術更新は $\delta_{1,t} < \delta_{2,t+1} < \cdots < \delta_{\zeta,t+T}$ を意味するので、式（15）を考慮すれば、技術競争が激しくなるほど、利用可能な地球的資源が少なくなる。

^{*35} $\tau = t + 1$ 及び $j = 2$ とする $\mathbb{X}_{j,\tau}$ は $\delta_{j,\tau}$ を決める変数ベクトル（例えば、新発明や知識蓄積、教育水準等）とし、 $A_{j,\tau}^* = A_{j,\tau}^*(\delta_{j,\tau}(\mathbb{X}_{j,\tau}))$ とすれば、 $\partial A_{j,\tau}^*/\partial \delta_{j,\tau} > 0$ であるため、 $\delta'_{j,\tau}(\mathbb{X}_{j,\tau}) > 0$ となれば、 $\partial A_{j,\tau}^*/\partial \mathbb{X}_{j,\tau} \partial \delta_{j,\tau} > 0$ となることがわかる。よって、 $\delta_{j,\tau}$ も $A_{j,\tau}^*$ も内生的に決められると考えられる。

^{*36} 式（14）と式（15）より、歴史的技術変化に基づく経済成長は地球的資源に制約されることがわかり、以下のことが示唆される。エコな生産技術や省エネな生産技術が「発見」または「利用」されたとしても、既に破壊されている地球環境を完全に修復することはできず、現在のオゾン層の破壊状態は、19世紀の産業革命期における環境汚染と全く関係がないとは言えないであろう。資源制約がある場合の内生的（持続的）経済成長可能性について、Aghion and Howitt（1997：Chap.5）も言及している。

以上の議論を踏まえ、式(6)～式(8)を考慮し、式(17)と図1を用いれば、マルサスの停滞から現代成長へ、そして現代成長から定常状態へという紀元後の世界経済における2回の大きな成長経路「転換」、即ち「大分岐Ⅰ」及び「大分岐Ⅱ」を理論的に解明できる。式(17)は $\tau = t + 1$ 及び $j = 2$ とする歴史的技術変化(式(8)～式(16))を伴うマルサスモデル(式(6)と式(7))における1人当たりGDPの成長可能性を示し、MMHTCを集約している。

$$\frac{\dot{y}_{j,\tau}}{y_{j,\tau}} = \begin{cases} > 0 & \begin{matrix} A_{j,\tau} < a_{j,\tau} < n_{j,\tau} < a_{j,\tau}/\varepsilon & \omega > 1 \\ A_{j,\tau} = a_{j,\tau} < n_{j,\tau} < a_{j,\tau}/\varepsilon & \omega = 1 \\ a_{j,\tau} < A_{j,\tau} < n_{j,\tau} < a_{j,\tau}/\varepsilon & \omega < 1 \end{matrix} \\ = 0 & a_{j,\tau} < A_{j,\tau} = a_{j,\tau}/\varepsilon = n_{j,\tau} \quad \omega = \varepsilon \\ > 0 & a_{j,\tau} < a_{j,\tau}/\varepsilon < n_{j,\tau} < A_{j,\tau} \quad \omega < 1 \end{cases} \quad (17)$$

3 「世界的経済循環」再考：MMHTCによる理論的考察

第2節では、「大分岐Ⅰ」及び「大分岐Ⅱ」は歴史的技術変化によって達成され、歴史的技術変化はロジスティック的技術周期更新($A_{1,t+1}$ から $A_{2,t+1}$ へ及び $A_{2,t+2}$ から $A_{3,t+2} + A_{2,t+2}$ へのシフト)によってもたらされるとする歴史的技術変化を伴うマルサスモデル(MMHTC)を理論展開している。MMHTCでは歴史的技術変化はLVCモデルにおける「生存型競争」(完全代替型技術競争)、「共存型競争」(補完型技術競争)によって達成されると考える。「大分岐Ⅰ」は「生存型競争」による技術周期更新がもたらすものであり、「大分岐Ⅱ」は「共存型競争」による技術周期更新がもたらすものである。この節ではMMHTCを用いて、2回の「大分岐」を包括的に考える「世界的経済循環」を理論的に考察し、「大分岐Ⅰ」と「大分岐Ⅱ」をもたらす歴史的技術変化の経済史的起因について検討する。

3.1 歴史的技術変化と大分岐Ⅰ/Ⅱ

第2.2節で示した通り、マルサスの停滞時代における技術水準(技術周期)が19世紀の産業革命以降の技術水準(技術周期)よりも低く $A_{1,t}$ であれば、 $j = 1$ とする式(17)と図1-1より、 $a_{1,t} < a_{1,t}/\varepsilon < n_{1,t}$ は常に成立するため、 $\dot{y}_{1,t}/y_{1,t} < 0$ となる。よって、技術水準が $A_{1,t}$ である限り、経済はマルサス停滞に陥り、マルサス停滞的経済における1人当たりGDPの長期均衡(y^*)はマルサスの安定性を満たすマルサスの均衡(マルサスの罫)となる。

一方、第2.3節で示されているように、19世紀産業革命以降の歴史的技術変化(技術周期更新)は「生存型競争」(完全代替型技術競争)の結果として、 $A_{1,t+1}$ から $A_{2,t+1}$ へのシフトとして達成されるとするならば、 $j = 1, 2$ とする式(17)及び図1-1で示されるように、1人当たりGDPの長期均衡はマルサスの均衡(y^*)から新たな均衡(y^{**})に移り変わる。 y^{**} は歴史的技術変化による成長経路「転換」、即ち「大分岐Ⅰ」によって達成されたため、 y^{**} は「大分岐Ⅰ」がもたらす新たな長期均衡(以下では「大分岐Ⅰ」均衡とする)となり、均衡は動学的な意味で安定的である。即ち、式(17)及び図1-1より、 $y_{2,t+1} < y^{**}$ であれば、 $\dot{y}_{2,t+1}/y_{2,t+1} > 0$ となり、 $y_{2,t+1} > y^{**}$ であれば、 $\dot{y}_{2,t+1}/y_{2,t+1} < 0$ となる。一方、 $\omega = \varepsilon$ が満たされれば^{*37}、 $A_{2,t+1} = a_{2,t+1}/\varepsilon = n_{2,t+1}$ が成立するため、 $\dot{y}_{2,t+1}/y_{2,t+1} = 0$ となり、「大分岐Ⅰ」均衡における1

^{*37} 表2-1の(iii)を参照。

人当たり GDP は $y_{2,t+1} = y^{**}$ となる^{*38}。

なお、MMHTC はロジスティック的技術周期を想定しているため、「大分岐 I」均衡の安定性が満たされるため、式 (17) と図 1 を同時に成立させる必要がある。そのため、ロジスティック的技術周期曲線 $A_{2,\tau}$ (図 1-1) において、3 つの変曲点の存在が必要である。表 2-1 は式 (17) と図 1 における諸変数とパラメータの関係について、一定の条件 (ε と $a_{2,t+1}$ の許容範囲等) が満たされれば、3 つの変曲点が存在することを数値例で示している^{*39}。(1) $y_{2,t+1} < y^{**}$ の領域では、(i) $\omega \geq 1$ であれば、 $a_{2,t+1} \geq A_{2,t+1}$ となるため (式 (11))、 $A_{2,\tau}$ における k 点 ($\omega = 1$) は $a_{2,t+1}$ と $A_{2,t+1}$ の小大関係が変わる最初の変曲点となる。(ii) $\omega = r_{2,t+1}$ ($\varphi = 0.5$) であれば、 $\dot{A}_{2,t+1}(a_{2,t+1})$ は極大となる (命題 1) よって、 $A_{2,\tau}$ における h 点 ($\omega = r_{2,t+1}$) は $a_{2,t+1}$ が極大から方向性が変わる 2 番目の変曲点となる。(2) $y_{2,t+1} > y^{**}$ の領域では、(iv) $\varphi = 1$ ($A_{2,t+1} = \hat{A}_{2,t+1}$) であれば、 $\dot{A}_{2,t+1} = 0$ となるため、 $A_{2,\tau}$ における f 点 ($\varphi = 1$) (図 1-2) は $a_{2,t+1}$ が $a_{2,t+1} = 0$ に変わる 3 番目の変曲点となる。これらの性質は「大分岐 II」均衡分析についても適用される。

表 2-1 式 (11) の数値例

$A_{2,\tau} \leq a_{2,\tau} < n_{2,\tau} < a_{2,\tau}/\varepsilon$	$a_{2,\tau} < A_{2,\tau} \leq n_{2,\tau} \leq a_{2,\tau}/\varepsilon$		$a_{2,\tau} < a_{2,\tau}/\varepsilon < n_{2,\tau} < A_{2,\tau}$
(i)	(ii)	(iii)	(iv)
$\varepsilon = 0.33$	$\varepsilon = 0.45$	$\varepsilon = 0.33$	$\varepsilon = 0.33$
$a_{2,t+1} \leq 0.01$	$0.01 < a_{2,t+1} \leq 0.02$	$0.01 < a_{2,t+1} \leq 0.015$	$0 \leq a_{2,t+1} < 0.01$
$\varphi \leq 0.33$	$0.33 < \varphi \leq 0.5$	$0.5 < \varphi \leq 0.6$	$0.6 < \varphi \leq 1$
$\omega \geq 1$	$r_{2,t+1} \leq \omega < 1$	$\varepsilon \leq \omega < r_{2,t+1} < 1$	$0 \leq \omega < r_{2,t+1}$

以上を整理すると、以下の命題が得られる。

命題 3 歴史的技術変化 (ロジスティック的技術周期曲線 $A_{1,t+1}$ から $A_{2,t+1}$ へのシフト) により達成された「大分岐 I」均衡 (y^{**}) は動学的な意味で安定的である (式 (17))。なお、一定の条件が満たされれば、「大分岐 I」均衡の安定性を満たす条件として、式 (17) と図 1 を同時に成立させるための、ロジスティック的技術周期曲線 $A_{2,\tau}$ における 3 つの変曲点 (k 点、 h 点及び f 点) が存在することがわかる。即ち、 $a_{2,t+1}$ と $A_{2,t+1}$ の小大関係が変わる変曲点 ($\omega = 1$)、 $a_{2,t+1}$ が極大から方向性が変わる変曲点 ($\omega = r_{2,t+1}$) 及び、 $a_{2,t+1}$ が $a_{2,t+1} = 0$ に変わる変曲点 ($\varphi = 1$) である。

以上を踏まえ、以下では「大分岐 I」及び「大分岐 II」をもたらす歴史的技術変化の経済史的起因を理論的に検討してみる。前述のように、MMHTC では歴史的技術変化 (技術周期更新) は「生存型競争」の結果 (「大分岐 I」と「共存型競争」の結果 (「大分岐 II」) として定義しているが、それぞれの経済史的起因については以下のように考えることができる。

マルサスの停滞から現代成長への成長経路「転換」、即ち、「大分岐 I」をもたらすものとして、産業革命後の

^{*38} 20 世紀の 50 年代 ~70 年代において、日本と欧米諸国は「大分岐 I」均衡における 1 人当たり GDP 水準を達成したと思われる。アメリカは 1950 年代、イギリスとフランスは 1960 年代、日本とイタリアは 1970 年代に高所得の国となったことは MHS (歴史統計) によって確認される (Maddison, 2001)。

^{*39} 表 2-1 において、1) (i)~(iii) は、 $y_{2,t+1} \leq y^{**}$ ($\dot{y}_{2,t+1}/y_{2,t+1} \geq 0 \Leftrightarrow a_{2,t+1} \leq n_{2,t+1} \leq a_{2,t+1}/\varepsilon$) 領域であり、(iv) は $y_{2,t+1} > y^{**}$ ($\dot{y}_{2,t+1}/y_{2,t+1} < 0 \Leftrightarrow a_{2,t+1} \leq a_{2,t+1}/\varepsilon \leq n_{2,t+1}$) 領域である (図 1-1)。2) (i) は $A_{2,t+1} \leq a_{2,t+1}$ 領域であり、(ii) は $a_{2,t+1} < A_{2,t+1}$ 、且つ、 $\omega \leq r_{2,t+1}$ ($\varphi \leq 0.5$) 領域である。(iii) は $a_{2,t+1} < A_{2,t+1} \leq n_{2,t+1} \leq a_{2,t+1}/\varepsilon$ 領域である。一方、(iv) は $a_{2,t+1} < a_{2,t+1}/\varepsilon < n_{2,t+1} < A_{2,t+1}$ であり、図 1-1 のロジスティック技術曲線 $A_{2,\tau}$ における $\varphi = 1$ を満たす点は $a_{2,t+1} = 0$ となる。3) $r_{2,t+1} = 0.5$ として設定している。

経済史的技術変化^{*40}が上げられる。Aghion and Howitt (2009) はその経済史的技術変化の起因の1つとして、製造業部門(近代工業部門)における正の利潤をもたらすような技術の出現を指摘している。Hansen and Prescott (2002) も資本集約部門(近代工業部門)の生産技術(ソロー型生産技術)が主導となった時、「大分岐 I」がもたらされる可能性を示唆している。一方、Rondo and Neal (2002) は産業革命の前提条件は科学技術進歩であるが、17世紀末から功利主義目的(Utilitarian Purposes)のために科学技術が開発され利用されていたことを指摘した。Aghion and Howitt (2009)、Hansen and Prescott (2002) と Rondo and Neal (2002) を参照しながら、「大分岐 I」をもたらす歴史的技術変化の経済史的起因を考察してみる^{*41}。 $\Pi_2 = (Y_2 - w_1^* L_2)$ を製造業部門(=近代工業部門)の利潤(=経済的利益)^{*42}とし、 $\pi_2 \equiv \Pi_2/L_2$ を製造業部門における1人当たり利潤とする。土地の収益を無視すれば(Galor and Weil, 2000)、マルサスの均衡における農業部門(=伝統産業部門)の賃金は農業部門の平均生産性に等しくなる($w_1^* = A_1 L_1^{-\varepsilon}$)^{*43}。 $t+1$ における製造業部門の1人当たり利潤は以下のように表すことができる。

$$\pi_{2,t+1} \equiv \Pi_{2,t+1}/L_{2,t+1} = A_{2,t+1} L_{2,t+1}^{-\varepsilon} - w_{1,t+1}^* = A_{2,t+1} L_{2,t+1}^{-\varepsilon} - A_{1,t+1} L_{1,t+1}^{-\varepsilon} \quad (18)$$

製造業部門の1人当たり利潤が正となるには、以下の条件を成立させる必要がある。

$$\pi_{2,t+1} > 0 \Leftrightarrow \frac{A_{2,t+1}}{A_{1,t+1}} > \left(\frac{L_{2,t+1}}{L_{1,t+1}} \right)^\varepsilon \quad (19)$$

式(19)を時間微分すれば、以下の式(20)が得られる。

$$\frac{\dot{\pi}_{2,t+1}}{\pi_{2,t+1}} > 0 \Leftrightarrow \frac{\dot{A}_{2,t+1}}{A_{2,t+1}} > \frac{\dot{A}_{1,t+1}}{A_{1,t+1}} + \varepsilon \left(\frac{\dot{L}_{2,t+1}}{L_{2,t+1}} - \frac{\dot{L}_{1,t+1}}{L_{1,t+1}} \right) \quad (20)$$

式(20)は製造業部門(近代工業部門)の技術水準が農業部門(伝統産業部門)よりも高く、更に近代工業化(「大分岐 I」)により増えてくる製造業部門の労働人口を解消できる水準以上に成長しなければ、製造業部門(近代工業部門)における正の利潤(経済的利益)は発生しないことを意味する。式(20)が成立すれば、式(6)における1人当たりGDPの成長可能性($\dot{y}_{2,t+1}/y_{2,t+1} > 0$)も満たされる。よって、「大分岐 I」をもたらす歴史的技術変化の大きな起因は19世紀以降の近代工業化を本格化させた「利潤動機」または「利益追求(Profit Seeking)」であると考えられる(Toffler, 1981; North, 1981; Rondo and Neal, 2002)。一方、製造業部門と農業部門の技術水準を $A_{2,t+1} = \delta_{2,t+1} \mathbb{E}$ 、 $A_{1,t+1} = \delta_{1,t+1} \mathbb{E}$ とすれば、式(20)と式(6)の関係は以下になる。

*40 注9を参照。

*41 2.2節以降の分析に合わせるため、2.1節における製造業部門と農業部門の表記を改め、 $m=2$ と $a=1$ とする。

42 Aghion and Howitt (2009) は製造業部門の生産関数及び利潤を $Y_2 = A_2 L_2$ 、 $\Pi_2 = Y_2 - w_1^ L_2$ としながら、近代工業化をもたらす経済史的起因は近代工業部門の正の利潤をもたらすような技術の出現である。即ち、 $A_2 > w_1^*$ が満たされることである。但し、 A_2 は内生的技術変化として考えている。

*43 $\Pi_1 = Y_1 - \phi_1 X_1 - w_1 L_1$ を農業部門の「利潤」とする。但し、 $Y_1 = A_1 X_1^\varepsilon L_1^{1-\varepsilon}$ である(式(2))。利潤最大化の1階条件より、 $\phi_1 = \partial Y_1 / \partial X_1 = \varepsilon (Y_1 / X_1)$ 、 $w_1 = \partial Y_1 / \partial L_1 = (1-\varepsilon) (Y_1 / X_1)$ が得られる。土地の収益を無視すれば、即ち、 $\varepsilon = \phi_1 (X_1 / Y_1) = 0$ とすれば、 $w_1 = Y_1 / X_1 = A_1 L_1^{-\varepsilon}$ となる。

$$\begin{aligned} \frac{\dot{\delta}_{2,t+1}}{\delta_{2,t+1}} &> \frac{\dot{\delta}_{1,t+1}}{\delta_{1,t+1}} + \varepsilon \left(\frac{\dot{L}_{2,t+1}}{L_{2,t+1}} - \frac{\dot{L}_{1,t+1}}{L_{1,t+1}} \right) \\ \Rightarrow \frac{\dot{\delta}_{2,t+1}}{\delta_{2,t+1}} &> \frac{\dot{\delta}_{1,t+1}}{\delta_{1,t+1}} + \frac{\theta}{\alpha} \varepsilon \left(\frac{\dot{L}_{2,t+1}}{L_{2,t+1}} - \frac{\dot{L}_{1,t+1}}{L_{1,t+1}} \right) - \frac{1}{\alpha} \frac{\dot{y}_{1,t+1}}{y_{1,t+1}} \quad (\alpha > \theta) \end{aligned} \quad (21)$$

式(21)は正に19世紀の産業革命以降の近代工業化を成し遂げ、マルサスの停滞から現代成長への「転換」(「大分岐Ⅰ」)をうまく成功させた国々の構図を表している。Toffler(1981)とNorth(1981)は経済史的技術変化をそれぞれ「第2の波」と「第2次経済革命」と呼んでいるが、Toffler(1981)は1700年代から1960年代までに起きた「第2次産業革命」と重なる「第2の波」は「革命的に」工業社会による農業社会の完全代替をもたらし、その変革は時には戦争を伴い非常に激しいものであったと指摘している。MMHTCが「大分岐Ⅰ」をもたらす歴史的技術変化を「生存型競争」^{*44}による「完全代替型」の技術周期更新とするのも、そのような経済史的背景を考慮したからである。

歴史的技術変化が世界史における産業革命と深く関わっていることは言うまでもない^{*45}。Toffler(1981)が言う「第2の波」は「第2次産業革命」までの「完全代替型」の経済史的技術進歩を指すものと思われるが、蒸気機関や鉄道、電力と機械といった近代技術の導入により大規模の工業生産が可能となると共に、地球的資源を消耗するほど世界経済成長を促すものである(Toffler, 1981: Chap.2)。一方、20世紀60年代から始まったデジタル革命(Digital Revolution)は、「第3の波」(「第3次産業革命」)としてのコンピュータ技術の開発、そしてその上に形成されている21世紀のAI技術(「第4次産業革命」)といった画期的な技術進歩をもたらし、これまでの経済社会システムを根底から変えようとしている(Schwab, 2017)。

「第3の波」以降の歴史的技術変化の特徴は、技術変化の連続性と地球的資源に対する更なる制約である。「大分岐Ⅰ」では「生存型競争」に基づく「完全代替型」の歴史的技術変化が可能であったのに対し、「大分岐Ⅱ」においては世界規模の経済成長が進むが故に、むしろそうした技術変化は更に地球的資源に制約を与えるという意味で、技術変化(技術周期更新)は「生存型競争」だけでは限界を迎えると共に「共存型競争」へ移行せざるを得ないという状況になっている。よって、「大分岐Ⅱ」をもたらす歴史的技術変化は「共存型競争」(補完型技術競争)による技術周期更新であると考えるのはより自然であろう。「大分岐Ⅱ」をもたらす歴史的技術変化(技術周期更新)は「共存型競争」によって達成されるとした場合、以下の式が満たされることが必要である。

$$\mu < \frac{\delta_{3,t+2}}{\delta_{2,t+2}} < \frac{1}{\mu} \quad (22)$$

$$(A_{2,t+2}^*, A_{3,t+2}^*) = \left(\frac{\Gamma_{2,t+2} - \mu\Gamma_{3,t+2}}{1 - \mu^2}, \frac{\Gamma_{3,t+2} - \mu\Gamma_{2,t+2}}{1 - \mu^2} \right) \quad (23)$$

但し、 $j = 3$ は「第3波」以降の技術水準(技術周期)を表す。式(22)はLVC型競争における「共存型競争」の条件($\dot{A}_{2,t+2}/A_{2,t+2} > 0$ 及び $\dot{A}_{3+\rho,t+2}/A_{3+\rho,t+2} > 0$)を満たすものであり、式(23)は「共存型競争」

^{*44} 注28を参照。

^{*45} Schwab(2017)は18世紀から始まった産業革命は4回あることを示している。即ち、1760~1840年の「第1次産業革命」、19世紀後半~20世紀前半の「第2次産業革命」、1960年代~21世紀の「第3次産業革命」と21世紀以降の「第4次産業革命」である。

争」における競争均衡である。均衡は動学的な意味で安定的である^{*46}。「大分岐 II」をもたらす歴史的技術変化（技術周期更新）後の地球的資源の制約は式（24）の通りとなる。

$$A_{2,t+2}^* + A_{3,t+2}^* = \left(\frac{\delta_{2,t+2} + \delta_{\rho+3,t+2}}{1 + \mu} \right) \mathbb{E} = \left(\frac{1 - \sum_{z=1, \tau=t-\lambda}^{\gamma+1+\sigma, t+1} \eta_{z, \tau} - \sum_{q=4, \tau=t+2}^{\zeta-\rho-3, t+T} \delta_{q, \tau}}{1 + \mu} \right) \mathbb{E} \quad (24)$$

「大分岐 II」まで、Chen（2014）が言うように、「小波」な技術周期更新が何度も繰り返されていることを前提とすれば、式（24）における ρ と σ ($\rho = \sigma$) はそれぞれ「大分岐 II」に至るまでの、「小波」な技術周期更新のための地球的資源に対する「使用」分と「償却」分を表す。式（24）のように、地球的資源を「償却」した分の再生利用が限られている以上、「第 3 の波」または「第 4 次産業革命」のような新たな技術開発が成功したとしても、地球的資源を増やすことはできない。即ち、式（24）のように、地球的資源制約を緩和するには、「使用済み」の資源 $\left(\sum_{z=1, \tau=t-\lambda}^{\gamma+1+\sigma, t+1} \eta_{z, \tau} \right) \mathbb{E}$ を再生利用できるようにし、その再生利用を可能にする技術開発のため、「未使用」の資源 $\left(\sum_{q=4, \tau=t+2}^{\zeta-\rho-3, t+T} \delta_{q, \tau} \right) \mathbb{E}$ を更に「使用」するしかない。地球的資源に上限があるとすれば、2.3 節で説明したように、技術進歩が進められるほど、地球的資源に対する制約は厳しくなる。図 1-1 はこのことを図示している。

一方、式（25）で示されるように、「共存型競争」は地球的資源を有効利用するという意味において、競争がない場合に比べて節約的であり $\left(\frac{\delta_{2,t+2} + \delta_{\rho+3,t+2}}{1 + \mu} < \delta_{2,t+2} + \delta_{\rho+3,t+2} \right)$ 「生存型競争」に比べて均衡における技術水準は高くなる $\left(\delta_{3+\rho} < \frac{\delta_{2,t+2} + \delta_{\rho+3,t+2}}{1 + \mu} \right)$ 。

$$\delta_{\rho+3,t+2} < \frac{\delta_{2,t+2} + \delta_{\rho+3,t+2}}{1 + \mu} < \delta_{2,t+2} + \delta_{\rho+3,t+2} \quad (\delta_{2,t+2} \approx \delta_{\rho+3,t+2}; \delta_{\rho+3,t+2} \geq \mu) \quad (25)$$

以上を踏まえ、以下では、MMHTC を用いて「世界的経済循環」及び「中国経済周期」について経済史的考察を行う。

3.2 世界的経済循環と中国経済周期の経済史的考察

Maddison（2001）は近代工業化（「大分岐 I」）を成し遂げた日本及び欧米諸国の 1998 年における 1 人当たり GDP 水準は、1820 年に比べて 7.31 倍も高くなり、それは近代工業化が遅れた日本を除くアジア諸国よりは遥かに高い水準であることを示した^{*47}。Maddison（2001）は近代工業化をもたらす主要因として、次の 3 つを挙げている。即ち、（1）地域開発と植民地（Conquest and Settlement）（2）国際貿易と資本移動（International Trade and Capital Movements）と（3）技術進歩と制度改善（Technological and Institutional Innovation）である。これらを 2.3 節で議論した Mokyr（1992）の「近代世界経済成長」分類に照らしてみれば、（1）と（2）は「スミス型成長」ないし「ソロー型成長」、（3）は「シュンペーター型成長」の源泉となる歴史的技術変化（MMHTC）をもたらす経済史的起因であると思われる。Maddison（2001）の 3 つの近代工業化をもたらす経済史的起因の根底には Toffler（1981）や North（1981）と Rondo and Neal（2002）が言う「利潤動機」または「利益追求」動機があることは言うまでもない。よって、MMHTC において、近代工

^{*46} Gotelli（2008：Figure 5.7）を参照。

^{*47} North（1981）は近代工業化を成功させた国々はその後、僅かな農業人口で多くの非農業人口を養うことができることを示した。例えば、アメリカは 5% の農業人口で 95% の非農業人口を養っていた（North，1981：Chap.12）。

業化（「大分岐 I」）の成功は、式（19）～式（21）で示した通り、「利潤動機」または「利益追求」動機に基づき、「完全代替型」技術周期更新の結果としての歴史的技術変化により、近代工業技術（ $A_{2,t+1}$ ）が伝統技術（ $A_{1,t+1}$ ）を完全代替できたか否かによって判別される。以上のことを考慮し、式（6）を式（26）のように書き直すことができる。

$$\frac{\dot{y}_{t+1}}{y_{t+1}} = \begin{cases} \beta \left(\frac{\dot{A}_{1,t+1}}{A_{1,t+1}} - \frac{1-\theta}{\beta} \varepsilon \frac{\dot{L}_{1,t+1}}{L_{1,t+1}} \right) \equiv g_a \left(\dot{A}_{2,t+1} = \dot{L}_{2,t+1} = 0 \right) \\ \alpha \left(\frac{\dot{A}_{2,t+1}}{A_{2,t+1}} - \frac{\theta}{\alpha} \varepsilon \frac{\dot{L}_{2,t+1}}{L_{2,t+1}} \right) \equiv g_m \left(\dot{A}_{1,t+1} = \dot{L}_{1,t+1} = 0 \right) \\ \beta \left\{ \frac{\dot{A}_{1,t+1}}{A_{1,t+1}} - \frac{\varepsilon}{\beta} \left(\theta \frac{\dot{L}_{2,t+1}}{L_{2,t+1}} + (1-\theta) \frac{\dot{L}_{1,t+1}}{L_{1,t+1}} \right) \right\} \equiv g_{aa} \left(\dot{A}_{2,t+1} = 0 \right) \\ \alpha \left\{ \frac{\dot{A}_{2,t+1}}{A_{2,t+1}} - \frac{\varepsilon}{\alpha} \left(\theta \frac{\dot{L}_{2,t+1}}{L_{2,t+1}} + (1-\theta) \frac{\dot{L}_{1,t+1}}{L_{1,t+1}} \right) \right\} \equiv g_{mm} \left(\dot{A}_{1,t+1} = 0 \right) \\ \alpha \left\{ \left(\frac{\dot{A}_{2,t+1}}{A_{2,t+1}} - \frac{\dot{A}_{t+1}}{A_{t+1}} \right) - \frac{\theta}{\alpha} \varepsilon \left(\frac{\dot{L}_{2,t+1}}{L_{2,t+1}} - \frac{\dot{L}_{1,t+1}}{L_{1,t+1}} \right) + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\dot{A}_{1,t+1}}{A_{1,t+1}} - \varepsilon \frac{\dot{L}_{t+1}}{L_{t+1}} \right) \right\} \equiv g \end{cases} \quad (26)$$

式（26）は歴史的技術変化（「完全代替型」技術周期更新）の状況により、19世紀以降の世界各国を農業小国、工業小国、農業大国と工業大国に分類している。 g_a と g_m は農業小国（人口の少ない農業特化国）と工業小国（人口の少ない工業特化国）を表し、 g_{aa} と g_{mm} は農業大国（人口の多い農業特化国）と工業大国（人口の多い工業特化国）を表す。MMHTC に従って言えば、 g_m と g_{mm} は歴史的技術変化を成功させた国々（ $\dot{A}_{2,t+1}/A_{2,t+1} > 0$ ）であり、 g_a と g_{aa} は歴史的技術変化に遅れた国々（ $\dot{A}_{2,t+1}/A_{2,t+1} \leq 0$ ）である。 g は19世紀以降の世界経済全体を表している。図 2-1 は式（26）を数値例として図示している。

（図 2-1）

$A_{2,t+1}$ を近代工業技術、 $L_{2,t+1}$ を近代工業部門における熟練労働の代理変数とすれば、近代工業化（「大分岐 I」）と1人当たり GDP 成長の関係を数値例で示すことができる。図 2-1 において、 g_m と g_{mm} は近代工業化を成功させた国々であり、 g_a と g_{aa} は近代工業化に遅れた国々である。工業小国（ g_m ）と工業大国（ g_{mm} ）は近代工業化の成功により、正の1人当たり GDP 成長を達成できることが示されている。一方、農業小国（ g_a ）は伝統技術を維持しながら、熟練労働（例えば、手工業者）が大幅に増えなければ、正の1人当たり GDP 成長を達成できず、人口の多い農業大国（ g_{aa} ）は巨大な人口を緩和できる近代工業技術がないため、正の1人当たり GDP 成長が全く実現できないことが示されている。以下では、MMHTC を簡略した式（26）、図 2-1 及び図 2-2 を用いて、「世界的経済循環」及び「中国経済周期」について経済史的考察を行う。

（図 2-2）

図 2-2 は「世界的経済循環」と「中国経済周期」、及び両者の「包摂」^{*48}的關係を図で表現したものである^{*49}。図 2-2 の「世界的経済循環」の部分は Rondo and Neal（2002）や宮崎（2017）等を参照し、紀元前（ローマ

*48 「包摂」は西田哲学における包含関係を意味する。

*49 図の波線は概念図として「世界的経済循環」と「中国経済周期」における歴史的経済変動（拡張と後退）を表している。

帝国時代)から21世紀までの、欧米を中心とする世界経済状況を概念図として描いている。西ローマ帝国の終焉(476年)は欧州が中世の経済停滞期に入ることを意味する。宮崎(2017)は7世紀以降から15世紀半ばの時代を「遊牧民の爆発の時代」とし、その時代は世界秩序が崩れていく変動期であると指摘している^{*50}。Maddison(2001)の歴史的統計を用いれば、中世から大航海時代(15世紀~17世紀)までの世界経済はマルサスの停滞状態にあることを確認できる。図2-2はMaddison(2001)の歴史的統計に従い、15世紀までの世界経済をマルサスの停滞として表現している。一方、15世紀以降の大航海時代から、ポルトガル、スペインとオランダ等の海外進出により、巨大な経済的利益をもたらした大西洋貿易(Atlantic Trade)は「大分岐I」をもたらす大きな起因となり、1500~1850年に台頭してきた欧州諸国はその貿易と深く関わっている(Acemoglu *et.al*, 2005)、Galor and Weil(2000)、Galor and Omer(2000, 2002)とGalor(2005, 2011)は19世紀から欧州で始まった「大分岐I」の主な要因は、人的資本需要の変化による人口転換であると分析している。その中で、貿易は大きな役割を果たしている(Galor and Mountford, 2006, 2008)^{*51}。

大航海による大西洋貿易はその後の世界経済を大きく変貌させた。Kindleberger(1996)は大航海時代以降、国家周期により世界的経済覇権はポルトガル、オランダ、イギリスとアメリカの順に移り変わっていたと指摘した^{*52}。図2-2における15世紀以降の世界経済変遷は以上のような経済史的事実に基づき、本論文で定義した「世界的経済循環」を描いている。即ち、15世紀は世界的経済循環の始まりであり、大航海時代後の大西洋貿易、18世紀と19世紀の英米を中心とする産業革命により、「大分岐I」がもたらされ、世界経済は20世紀の「黄金時代」(50~70年代)を経験した後に、21世紀から「世界的限界経済成長性逓減」(「大分岐II」という段階に入っている^{*53}。大航海時代以降の世界経済をMMHTCの式(26)に当て嵌めれば、大航海時代のポルトガル、スペインとオランダは工業小国(g_m)に当たり、19世紀以降のイギリスとアメリカは工業大国(g_{mm})である。前述のように、これらの国々の近代工業化(「大分岐I」)は歴史的技術変化(「完全代替型」技術周期更新)によって実現し、歴史的技術変化をもたらす主な経済史的起因は巨大な経済的利益であることは言うまでもない。

図2-2の「中国経済周期」及び「気候」の部分は王(2000)、葛(2011)、万他(2018)や尹他(2014)等を参照し、紀元前(秦漢時代)から21世紀までの中国経済状況を概念図として描いている。世界経済が閉ざされていた15世紀まで、中国では秦漢時代、隋唐時代、宋時代といった歴史的経済周期(王朝型経済周期)が繰り返されていた。これは中国自律的な内生的経済周期、即ち「歴史的中国经济周期」であると考えられる。各時代の繁栄と衰退をもたらす歴史的起因はそれぞれであるが、共通しているのは、統一は各時代の繁栄をもたらす、腐敗や動乱等は衰退をもたらすことである。中国各時代の経済興亡(経済周期)は約300年である。漢(前202~220年)、唐(618~907年)、宋(960~1279年)、明(1368~1644年)と清(1636~1911年)はそれぞれ406年、290年、321年、277年と276年である。各時代における繁栄期は約100年である。漢(前漢と後漢)は195年、唐は94年、宋(北宋と南宋)は99年、明は100年、清は110年である^{*54}。葛(2011)と尹他(2014)はこれまでの中国王朝型経済周期は歴史的要因の他に、気候変動にも大きく影響されていたことを指摘している。中国の歴史の中で、温暖期においては経済安定期が長く、寒冷期においては経済安定期が短い。図2-2は「中国経済周期」と「気候」の関係を図示している。図2-2で示されているように、明清時代の中国は長い寒冷期に入り、清の繁栄期である「康乾盛世」(1681~1796年)以降は、中国は約100年という

^{*50} McNeill(1980)とRondo and Neal(2002)は中世においても欧州では技術進歩や安定的経済発展があったと見ている。

^{*51} Galor(2012)はイギリスとインドの貿易における人的資本需要の違いにより、両国の所得格差が更に拡大していたことを示している。

^{*52} Kindleberger(1996: Figure 3.2)を参照。

^{*53} 「大分岐I」及び「大分岐II」をもたらす理論的起因は3.1節で示した通りである。

^{*54} 岑(2021)を参照。

長い衰退期（1840～1949年）に入っている。この時期に日本及び欧米諸国は産業革命により「大分岐Ⅰ」を経験していた（図2-2）。

一方、20世紀80年代以降、これまでの王朝型経済周期と異なる新たな中国経済周期が始まり、それと同時に長期的経済成長という視点から見れば、欧米諸国はKindleberger（1996）が言う国家周期における下降期に入っており、21世紀以降の世界経済は「大分岐Ⅱ」における「世界的限界経済成長性逡減」という段階に転じていると思われる。「21世紀世界的経済現象」は「大分岐Ⅱ」と新たな中国経済周期とが重なった時の世界的経済現象である。よって、紀元後の世界的経済循環における2回の「大分岐」はいずれも中国歴史的経済周期が関わっていることがわかる。「大分岐Ⅰ」では、中国経済は長期衰退期に入り、「大分岐Ⅱ」においては、中国は新たな経済周期が始まっている。中国歴史的経済周期をMMHTCの式（26）に当て嵌めれば、1950年代以前の中国は農業大国（ g_{aa} ）であり、20世紀80年代以降の中国は工業大国（ g_{mm} ）である。2000年以上の農業大国から工業大国に転じた主な要因として、1949年（中華人民共和国）以降の土地改革政策、教育政策と工業化政策である（岑，2021）。これらの政策のいずれも中国をマルサスの停滞から脱出させるための長期的政治経済政策であり、それにより中国の歴史的技術変化は1980年代から始まっていると思われる。

4 おわりに

本論文は紀元後における世界経済成長牽引役の交替を伴う世界的経済変遷を「世界的経済循環」とした上で、「世界的経済循環」を理論的に解明している。

本論文は「世界的経済循環」及び「歴史的中国经济周期」の理論的側面について、歴史的技術変化を伴うマルサスモデル（Malthusian Model with Historical Technological Changes：MMHTC）を用いて説明を行っている。MMHTCはマルサスの停滞から現代成長へ、そして現代成長から定常状態へという紀元後の世界経済史における2回の大きな成長経路「転換」を2回の大分岐（それぞれ「大分岐Ⅰ」及び「大分岐Ⅱ」）として、これらの大分岐の起因と経済史的意義を理論的に説明するものである。本論文は「大分岐Ⅰ」及び「大分岐Ⅱ」は歴史的技術変化によって達成され、歴史的技術変化はロジスティック的技術周期更新によってもたらされるとする歴史的技術変化を伴うマルサスモデル（MMHTC）を理論展開している。歴史的技術変化はLVC（Lotka-Volterra Competition）モデルにおける「生存型競争」（完全代替型技術競争）、「共存型競争」（補完型技術競争）によって達成されると考える。歴史的技術変化をもたらず経済史的起因を照らし合わせれば、「大分岐Ⅰ」は「生存型競争」による技術周期更新がもたらすものであり、「大分岐Ⅱ」は「共存型競争」による技術周期更新がもたらすものであると考えられる。

本論文の主な結論は以下の通りである。第1に、歴史的技術変化は地球的資源に制約されているが故に、技術周期が更新されるほど、利用可能な地球的資源は少なくなり、よって、歴史的技術変化を新たな経済成長源泉とする長期的限界経済成長率は逡減する。21世紀以降に現れる「世界的限界経済成長性逡減」（「大分岐Ⅱ」）はそのことを立証しているように思われる。第2に、紀元後の世界的経済循環における2回の「大分岐」はいずれも中国歴史的経済周期が関わっており、「大分岐Ⅰ」では、中国経済は長期衰退期に入り、「大分岐Ⅱ」においては、中国は新たな経済周期が始まっている。第3に、明清時代の中国は長い寒冷期に入り、清の繁栄期である「康乾盛世」以降は、中国は約100年という長い衰退期に入っている。この時期に日本及び欧米諸国は産業革命により「大分岐Ⅰ」を経験していた。一方、20世紀80年代以降、これまでの王朝型経済周期と異なる新たな中国経済周期が始まり、それと同時に長期的経済成長という視点から見れば、欧米諸国はKindleberger（1996）が言う国家周期における下降期に入っており、21世紀以降の世界経済は「大分岐Ⅱ」における「世界的限界経済成長性逡減」という段階に転じていると思われる。「21世紀世界的経済現象」は「大分岐Ⅱ」と新

たな中国経済周期とが重なった時の世界的経済現象である。

5 References

1. Acemoglu, Daron, Simon Johnson, and James Robinson(2005).“The Rise of Europe: Atlantic Trade, Institutional Change, and Economic Growth.” *American Economic Review* 95, 546–579.
2. Aghion, Philippe and Peter Howitt(1997).*Endogenous Growth Theory*. The MIT Press.
3. Aghion, Philippe and Peter Howitt(2009).*The Economics of Growth*. The MIT Press.
4. Barro, Robert J.and Xavier I. Sala-I-Martin(2004).*Economic Growth*, second edition. The MIT Press.
5. Chen, Ping(2014).“Metabolic Growth Theory: Market-Share Competition, Learning Uncertainty, and Technology Wavelets.” *JournalofEvolutionaryEconomics* 24, 239–262.
6. Clark, Gregory(2007).*A Farewell to Alms: A Brief Economic History of the World*. Princeton Press. (G. クラーク 『10 万年の世界経済史 (上、下)』 久保恵美子訳、日経 BP、2009)
7. Galor, Oded and Omer Moav(2000).“From Physical to Human Capital Accumulation: Inequality and the Process of Development.” *Review of Economic Studies* 71:1001–1026.
8. Galor, Oded and Omer Moav(2002).“Natural Selection and the Origin of Economic Growth.” *The Quarterly Journal of Economics* 117: 1133-1191.
9. Galor, Oded and David N. Weil(2000).“Population, Technology, and Growth: From Malthusian Stagnation to the Demographic Transition and Beyond.” *American Economic Review* 94:806–828.
10. Galor, Oded and Andrew Mountford(2006).“Trade and the Great Divergence: The Family Connection.” *American Economic Review* 96: 299-303.
11. Galor, Oded and Andrew Mountford(2008).“Trading Population for Productivity: Theory and Evidence.” *Review of Economic Studies* 75:1143–1179.
12. Galor, Oded(2005).“From Stagnation to Growth: Unified Growth Theory.” In *Handbook of Economic Growth*, Philippe Aghion, Steven N. Durlauf(editors).Amsterdam: North-Holland, pp.171-293.
13. Galor, Oded(2011).*Unified Growth Theory*. Princeton University Press.
14. Galor, Oded(2012).“The Demographic Transition: Causes and Consequences.” *Cliometrica* 6:1-28.
15. Griliches, Zvi(1957).“Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change.” *Econometrica* 25: 501-522.
16. Gotelli, Nicholas J.(2008).*A Primer of Ecology*. Sinauer.
17. Haberman , Richard(1977).*Mathematical Models:Mechanical Vibrations, Population Dynamics, and Traffic Flow : An Introduction to Applied Mathematics*. Prentice Hall.
18. Hansen, Gary D. and Edward C. Prescott(2002).“Malthus to Solow.” *American Economic Review* 92:1205-1217.
19. Jones, Charles I.(1999).“Was an Industrial Revolution Inevitable? Economic Growth Over the Very Long Run.” *NBER Working Paper No. 7375*.
20. Kindleberger, Charles P.(1996).*World Economic Primacy: 1500-1990*. Oxford University Press.
21. Kremer, Michael(1993).“Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to

- 1990.” *The Quarterly Journal of Economics* 108: 681–716.
22. Maddison, Angus(2001).*The World Economy: A Millennial Perspective*. OECD.
 23. Maddison, Angus(2003).*The World Economy: Historical Statistics*. OECD.
 24. Maddison, Angus(2007).*Contours of the World Economy 1-2030 Ad: Essays in Macro-economic History*. Paris: Oxford University Press.
 25. Malthus, Tomas R(1798).*An Essay on the Principle of population*. W. Pickering.
 26. Mansfield ,Edwin(1961).“Technical Change and the Rate of Imitation.” *Econometrica* 29: 741-766.
 27. McNeill, William H.(1980).*A World History*. Oxford University Press.
 28. Miller, Merton H. H. and Charles W. Upton(1986).*Macroeconomics: A Neoclassical Introduction*. University of Chicago Press.
 29. Mokyr, Joel(1992).*Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*. Oxford University Press.
 30. Mokyr, Joel(2005).“Long-Term Economic Growth and the History of Technology.” In *Handbook of Economic Growth*, Volume 1B,Philippe Aghion, Steven N. Durlauf (editors) .Amsterdam: North-Holland, pp.1113-1180.
 31. Mokyr, Joel and Hans-Joachim Voth(2010).“Understanding growth in Europe, 1700–1870: theory and evidence.” In *The Cambridge Economic History of Modern Europe , Volume 1: 1700-1870*, Stephen Broadberry, Kevin H. O’Rourke, (editors) . Cambridge University Press, pp. 7-42.
 32. North, Douglass C.(1981). *Structure and Change in Economic History*, W W Norton & Co Inc.
 33. Pomeranz, Kenneth(2000).*The Great Divergence*, Princeton University Press. (K. ポメラantz 『大分岐』川北稔監訳、名古屋大学出版会、2015)
 34. Rondo, Cameron and Larry Neal(2002).*A Concise Economic History of the World: From Paleolithic Times to the Present*, Oxford Univ Press.
 35. Schumpeter, Joseph A.(1942).*Capitalism, Socialism, and Democracy*, Harper and Brothers.
 36. Schwab, Klaus.(2017).*The Furth Industrial Revolution*, Currency.
 37. Smith, Adam (1776) , *The Wealth of Nations*, ClassicBooks (2020)
 38. Solow, Robert M.(1957).“Technical Change and the Aggregate Production Function.” *The Review of Economics and Statistics* 39: 312–320.
 39. Toffler, Alvin(1981).*The Third Wave*, Pan Books.
 40. Warsh, David(2007).*Knowledge and the Wealth of Nations: A Story of Economic Discovery*, W W Norton & Co Inc.
 41. 岑智偉 (2014) 「Rent-Seeking を伴う長期成長の可能性と公共政策効果」『京都産業大学世界問題研究所紀要』第 29 巻.
 42. 岑智偉 (2021) 「『歴史的中国经济周期』から読み解く『一带一路』」岑智偉・東郷和彦編『一带一路：多元的視点から読み解く中国の共栄構想』晃洋書房 (近刊) .
 43. 福田慎一 (2018) 『21 世紀の長期停滞論』平凡社.
 44. 南川高志 (2013) 『新・ローマ帝国衰亡史 (岩波新書)』岩波書店.
 45. 宮崎正勝 (2017) 『世界 経済 全史』日本実業出版社.
 46. 杜友龍 (2014) 『太平盛世』現代出版社. (中国語)
 47. 範文瀾 (2020) 『中国通史簡編』天津人民出版社. (中国語)

48. 葛全勝編著 (2011) 『中国歷朝氣候变化』 科学出版社. (中国語)
49. 侯楊方 (2019a) 『盛世：西漢』 中信出版集团. (中国語)
50. 侯楊方 (2019b) 『盛世：康乾』 中信出版集团. (中国語)
51. 王毓銓編著 (2000) 『中国經濟通史：明代經濟卷 (上、下)』 經濟日報出版社.
52. 尹君・羅玉洪・方修 qí・蘇 yún (2014) 「西漢至五代中国盛世及朝代更替的氣候变化和農業豐歉背景」 『地球環境學報』 6:400-409. (中国語)
53. 万国鼎・万斯年・陳夢家 (2018) 『中国歷史紀年表』 中華書局. (中国語)
54. 趙德馨編著 (2002a) 『中国經濟通史・第四卷』 (隋唐/鄭学檬他著) 湖南人民出版社. (中国語)
55. 趙德馨編著 (2002b) 『中国經濟通史・第五卷』 (宋/葛金芳著) 湖南人民出版社. (中国語)
56. 趙德馨編著 (2002c) 『中国經濟通史・第九卷』 (民国/王方中著) 湖南人民出版社. (中国語)

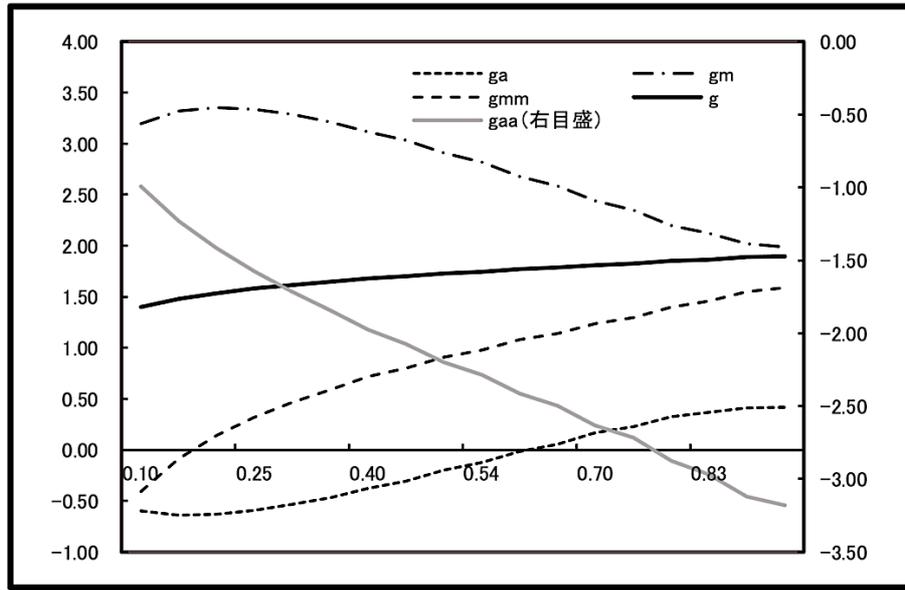


図 2-1 MMHTC の数値例

注：縦軸は 1 人当たり GDP 成長率、横軸は熟練労働人口の割合を示す θ 値である。変数の計算値は次のように設定している。 $\dot{A}_m/A_m = 6\%$ 、 $\dot{A}_a/A_a = 4.5\%$ 、 $\dot{L}_m/L_m = 8\%$ 、 $\dot{L}_a/L_a = 5\%$ 、 $A_a = 10$ 、 $\varepsilon = 0.5$ である。一方、 A_m の計算値については、モデルの性質により、それぞれ $A_m = 15$ (g_a と g_{aa}) と $A_m = 45$ (g_m と g_{mm}) のように設定している。

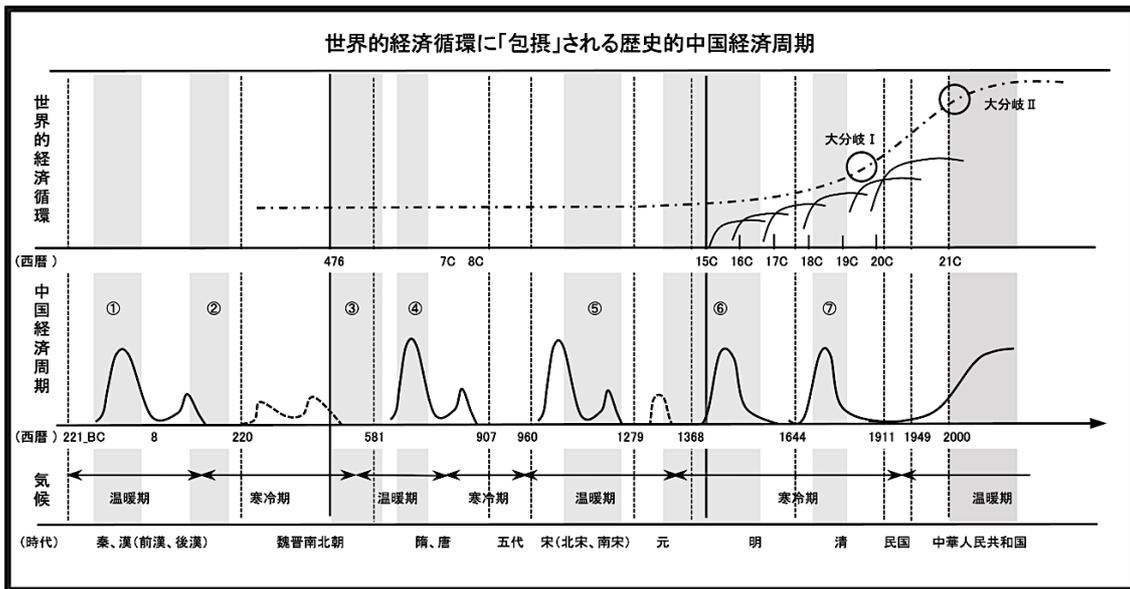


図 2-2 世界的経済循環と歴史的中国经济周期

注：1) 「世界的経済循環」について、McNeill (1980)、Maddison (2001)、Rondo and Neal (2002)、南川 (2013)、宮崎 (2017) を参照している；2) 「中国经济周期」について、王 (2000)、趙 (2002a、2002b、2002c)、杜 (2014)、万他 (2018)、侯 (2019a、2019b)、範 (2020)、葛 (2011)、尹他 (2014) を参照している；3) 「気候」について、葛 (2011) を参照している。