

# 都市における人間活動時間の変化に伴う労働生産性及びCO<sub>2</sub>排出量の最適化に関する研究

山下 睦<sup>1</sup>・韓 驥<sup>2</sup>・谷川 寛樹<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)  
E-mail:mutsuki0223@gmail.com

<sup>2</sup>正会員 名古屋大学大学院助教 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)  
E-mail:hanji@urban.env.nagoya-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)  
E-mail:tanikawa@nagoya-u.jp

日本は2005年に戦後初となる人口減少を経験した。今後は少子高齢化に伴い、人口も緩やかに減少していくことが予想される。人口の減少は、都市で活動する人々の労働時間や睡眠時間など、人間活動時間の総量も減少することを意味する。人間活動時間のうち、労働時間が減少し生産性が変わらなければ当然GDPも減少することが予想される。現在の経済レベルを維持していくためには、産業構造を変化させるなどして生産性を向上させる必要がある。そうした変化が環境に与える負荷も考慮しなければならない。そこで本研究では愛知県を例に環境負荷を考慮した産業構造の最適化を行った。その結果、三次産業から二次産業への転換が起こった。しかし産業の転換による生産額の増加の効果は0.007%と薄く、愛知県の産業構造はほぼ最適化された状態に近いことが示された。

**Key Words :** human time, labor productivity, CO<sub>2</sub> emission, production function, optimization

## 1. はじめに

### (1) 日本が抱える社会問題

#### a) 人間活動時間の変化

人間は一人一人が皆平等に一日24時間という時間を持っており、その24時間を睡眠や食事や仕事や勉強などに費やすことで日々生活を送っている。旧来の経済学では、生産は資本、労働、土地から構成されていると言われていたが、労働や資本を表すものの1つとして時間を考えることができる。都市が持つ時間を考えることで人々のライフスタイルや都市の産業構造の変化を考慮しつつ、定量的に資源・エネルギー利用と経済との評価を行うことが可能となる。例えば都市全体の生産という観点で考えれば、都市内の労働者それぞれの労働時間を資源として生産活動を行うと考えると、人口自体が減少し労働時間が減少した場合、労働者一人一人の労働時間を増やすことで補うことができる。今後、労働人口が激減し、ライフスタイルや産業構造が変化する可能性のある日本では労働者一人当たりの労働時間が増加することも考えられるため、労働生産性を語る上で労働の単位を労働者とするよりも労働時間とするほうが望ましい。そのため、

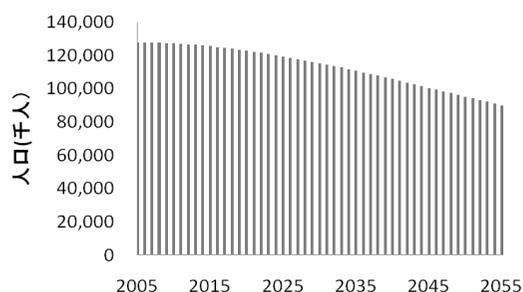


図-1 将来の人口の推移

本研究における労働生産性は労働者一人当たりの生産額ではなく、投入された労働時間当たりの生産額を意味する。

#### b) 人口減少

日本は2005年に戦後初となる人口減少<sup>1)</sup>を経験した。その後も人口は徐々に減少を続け、2010年の時点で約12,752万人であり、2005年時点の人口と比べて約23万人減少した。

図-1はコーホート要因法を用いて2005年から2055年までの日本の人口を推計結果を表す。図-1より、2005年から人口は右肩下がりに減少している。また2030年に日

本の人口は11,522万人、2055年には8,993万人にまで減少すると推計されており、人口減少は今後さらに加速していくことが予想される。

## b) 高齢化

日本の生活水準は経済発展とともに向上し、さらに医療技術が進歩したことで日本は世界でも屈指の長寿国となったが、その反面で社会問題として問題視されているのが高齢化問題<sup>2)</sup>である。高齢になると生産活動を行うことが難しくなるため、高齢化によって日本の経済発展が助長されることは考え難い。一方で高齢者の生活水準を維持するためには社会保障制度などで高齢者の生活を補助していく必要があるため、高齢化が進むにつれて生産年齢層の負担は増加する。

図-2は0～14歳・15～64歳・65歳以上の3つの年齢層の推移を表す。2005年時点で65歳以上の人口の割合は20.2%程度であるが、2055年の65歳以上人口の割合は40.5%で、2005年時点の約2倍の値となっており、高齢化も人口減少と同様にますます加速していくことが予想される。

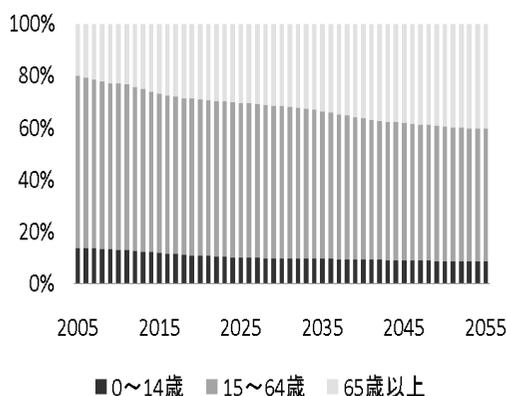


図-2 将来の年齢層の推移

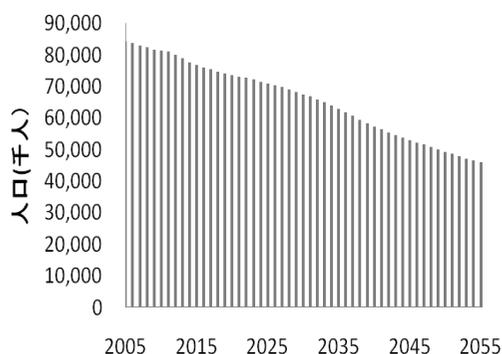


図-3 将来の生産年齢層の推移

## c) 生産年齢層の人口の減少

上記の人口減少と高齢化の二つによって引き起こされるのが、生産年齢人口の激減である。人口減少によって人口の絶対数が減少する中で、その人口の内訳も高齢者が多くなるため、15歳以上65歳未満の生産年齢人口は劇的に減少する。

図-3は2005年から2055年までの生産年齢人口の推移を表す。2005年時点で8,442万人だった生産年齢人口が、2055年には4,95万人にまで減少している。また生産年齢人口一人当たりの非生産年齢人口は、2005年の時点では0.51人であるのに対し、2055年では0.96人となっており、生産年齢層の負担も倍近くになることが予想される。

生産年齢人口の減少は、生産の一つの要素である労働投入量の減少を意味するため、日本の経済活動における生産力は低下する。さらに高齢化による非生産年齢層の増加によって、非生産年齢層を支える生産年齢層の負担は増大する一方である。また生産年齢層の負担の増加がさらに少子化が深刻化し、生産年齢層が増えないという負のスパイラルになるということも予測される。そのような最悪の事態にならないためにも、あらゆる方法を以って生産力を向上させていく必要がある。人口減少が見込まれている現状では単純に労働投入量を増加させることで生産力を上げることは難しいため単位労働投入量当たりの生産性を上げることが重要であり、本研究においては労働の投入をより生産性の高い産業へと転換することで生産力がどれほど向上するのかを愛知県を例にとつて分析を行う。

## (2) 労働生産性

### a) 全国の生産性

図-4は1996年から2004年までの全国及び愛知県における生産性の推移を表す。図-4の全国の部分を見ると、ほぼ線形に近い形で年々上昇している。1996年時点の生産性は3835(円/h)であるのに対し2006年では4318(円/h)と、8年で12.6%、1年当たり1.58%の割合で上昇している。

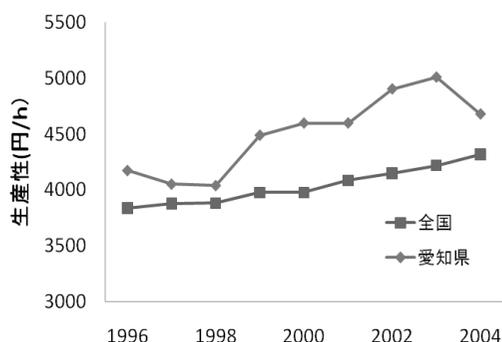


図-4 全国及び愛知県の生産性の推移

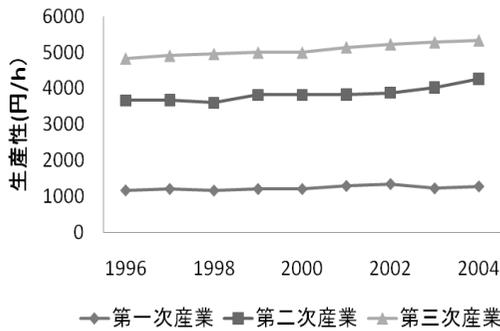


図5 全国の産業別生産性の推移

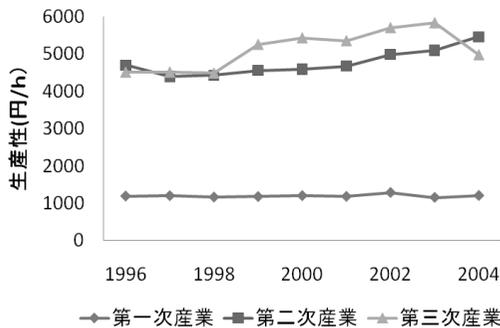


図6 愛知県の産業別生産性の推移

また図-5は全国の第一次産業・第二次産業・第三次産業ごとの生産性の推移を表す。図-5より、第三次産業・第二次産業・第一次産業の順に生産性が高く、特に第一次産業は他の二つの産業と比べて生産性がかなり低い。また一次産業は生産性の伸びはあまり見られないが、第二次産業は1996年から2004年にかけて16.5%、第三次産業は10.3%生産性が伸びており、第二次産業と第三次産業については今後も伸びる傾向にある。

#### b) 愛知県の生産性

図-4より、愛知県の生産性は全国の実績よりも高く、また全国に比べて地域性が大きく影響するので年ごとの変動が大きい。全体的には増加傾向にある。

また図-6は愛知県の産業ごとの生産性の推移を表した図であるが、全国の場合には明確に第三次産業のほうが第二次産業よりも高かったのに対して、愛知県の場合は必ずしもそうはなっていない。2004年の時点で第二次産業のほうが生産性が高くなっているため、今後は第二次産業が生産性で第三次産業の上をいく可能性もある。また産業ごとに見ると、一次産業は全国と同じくあまり変化はない。二次産業は1997年以降は上昇傾向にあるが、三次産業は変動が大きく安定していない。

## 2. 研究の目的と方法

### (1) 研究目的

本研究の目的は、前章でも述べたように、労働者をより生産性の高い産業へと転換することで生産力がどれほど向上するのかを分析することである。またそのような産業の転換を行うことで環境に与える負荷が大きくなると持続可能な社会は望めない。環境負荷についても評価を行う。そのような研究はSCGEモデルを用いているが、SCGEモデルの場合は企業の利潤最大化や、家庭の効用最大化というミクロな視点によるものである。一方本研究は、その地域の全産業による総生産を最大化するというマクロな視点によるものであり、SCGEモデルとは大きく異なる。

主な対象は2030年の愛知県とし、産業の転換は第二次産業と第三次産業の間のみで起こるものとする。これはもし第一次産業から他の産業への転換を許す場合、生産性の差から考えて第一次産業から人口が流出するのは想像するに容易いが、食糧の大半を他県や外国に頼ることとなり低い食糧自給率<sup>3)</sup>がさらに低下することになる。そのような事態は持続可能性という観点で見ても望ましくないため、今回は産業の転換を第二次産業と第三次産業の間でのみ行う。

### (2) 研究方法

#### a) 労働人口の推計

労働人口の推計のために、まず愛知県の将来の人口の推計を行う。将来人口はコーホート要因法を用いて推計を行う。4

コーホート要因法とは、コーホートと呼ばれる男女別5歳階級別の集団の時間変化を軸に、年齢人口の加齢に伴って生じる年々の変化その要因ごとに計算して将来の人口を求める方法である。まず基準年 $t$ 年の各コーホートの人口を基準とし、各コーホートの5年間の生存率と移動率を仮定することで、各コーホートの $t+5$ 年の人口を求めることができる。つまり、基準年次の人口から5年後の5歳以上の各コーホートの人口を算出することができる。一方、基準年から5年の間に生まれる0~4歳の人口については、再生産年齢人口(15~49歳の女性人口)に出生率と出生性比を仮定し5年間の出生数を求め、同様に生存率と移動率を仮定することで、 $t+5$ 年における0~4歳の人口を求めることができる。

以上の方法で求めた2030年の愛知県の人口は5歳階級別に分かっているため、その各階級の人口に2005年の各階級ごとの労働者人口の割合を掛けたものを2030年の労働者人口として求める。

#### a) 最適化

ある年における生産額 $Y$ を、第一次産業・第二次産

業・第三次産業に投入された労働量で表わされる以下の  
ような式で表わす。

$$Y = f(L_1, L_2, L_3) \quad (1a)$$

ここで $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ はそれぞれ第一次産業、第二次産業、第三次産業に投入された総労働時間である。生産関数は本来、労働と資本を変数とした式で表わされるが、今回は便宜的に資本を定数で表わすものとすれば式(1a)は、

$$Y = A \cdot L_1^{\alpha_1} \cdot L_2^{\alpha_2} \cdot L_3^{\alpha_3} \quad (1b)$$

と表わされる。ここで $A$ は生産技術と資本を表わす定数である。また第一次産業・第二次産業・第三次産業の労働人口をそれぞれ $l_1$ ・ $l_2$ ・ $l_3$ 、平均労働時間を $t_1$ ・ $t_2$ ・ $t_3$ とすれば、 $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ はそれぞれ、

$$\begin{aligned} L_1 &= t_1 \cdot l_1 \\ L_2 &= t_2 \cdot l_2 \\ L_3 &= t_3 \cdot l_3 \end{aligned} \quad (2)$$

と表わされる。

式(1b)によって産業の転換による生産力の変化を表わすことができるが、もし産業を転換させたことで二酸化炭素排出量が増加していれば、その増加分だけ社会的損失が発生していることになる。その社会的損失を評価するために、ある年における二酸化炭素1t-CO<sub>2</sub>あたりの社会的損失額を $K$ とすれば、実質的な生産額 $Y'$ は、

$$\begin{aligned} Y' &= Y - K \cdot \Delta CO_2 \\ &= Y - K \cdot (D_2 \cdot P_2 \cdot \Delta L_2 - D_3 \cdot P_3 \cdot \Delta L_3) \end{aligned} \quad (3)$$

と表わされる。ここで $D_2$ ・ $D_3$ はそれぞれ第二次産業・第三次産業の単位生産額あたりの二酸化炭素排出原単位であり、 $P_2$ ・ $P_3$ はそれぞれ第二次産業・第三次産業生産性である。この実質的な生産額 $Y'$ を最大化するように第二次産業及び第三次産業の労働投入量の最適化を行う。その際の制約条件は以下の通りである。

$$\begin{aligned} l_1 &= const. \\ l_2 + l_3 &= const. \\ l_1, l_2, l_3 &\geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

### (3) 使用データ

#### a) 人口データ

人口のデータに関しては、平成17年の国勢調査<sup>9)</sup>による年齢階級別データを用いた。また、就業者数に関しても、平成7年・平成12年・平成17年の国勢調査による産業別の就業者数のデータを用いた。尚、国勢調査は5年ごとにしか調査されていないため、データの存在しない間の4年については線形補完したものを用いた。

また人口推計の際に必要な将来の生存率・移動率・出生率等のデータは、国立社会保障・人口問題研究所が公表している都道府県別の仮定値表<sup>4)</sup>を用いた。

#### b) 生産額データ

生産額のデータに関しては、平成8年から平成17年までの県民経済計算<sup>5)</sup>のデータを用いた。また用いたのは生産側で平成12暦年連鎖価格のものである。尚、経済活動別生産額のデータのうち公務・分類不能の産業に関してはいずれの計算にも含まれていない。

#### c) 労働時間データ

労働時間のデータに関しては平成8年から平成17年までの労働統計年報<sup>6)</sup>の平均月間労働時間を用いた。また労働統計年報の都道府県別データは都道府県によってデータが公開されていない場合があるので、そのような都道府県の値には全国値を用いた。また農業・林業・漁業の第一次産業に関しては集計されていないため、第一次産業の月間平均労働時間は1日7時間を月に20日労働すると仮定して140時間とした。

#### d) 原単位データ

二酸化炭素排出原単位については、国立環境研究所による環境負荷原単位データブック(3EID)<sup>7)</sup>の2000年における原単位を引用した。

また二酸化炭素1t-CO<sub>2</sub>あたりの社会的損失額のデータについては、日経JBICの2010年の平均排出権取引価格<sup>8)</sup>が二酸化炭素1t-CO<sub>2</sub>の価値であると仮定し用いた。

## 3. 結果と考察

図-7は今回の推計による第二次産業の労働人口の推計結果である。図中の「BAU」とは、2005年の産業ごとの労働人口の割合をそのまま2030年に適用した場合を意味する。また「CO<sub>2</sub>考慮なし」とは、最適化の際にCO<sub>2</sub>の増加分を社会的損失額として考慮せず、生産額を増加させることだけ考えた場合を表す。そして「CO<sub>2</sub>考慮」はCO<sub>2</sub>の増加分を社会的損失額として最適化した場合である。

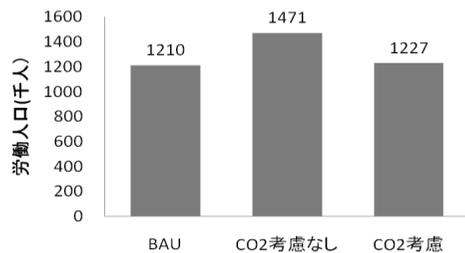


図-7 第二次産業の労働人口の推計結果

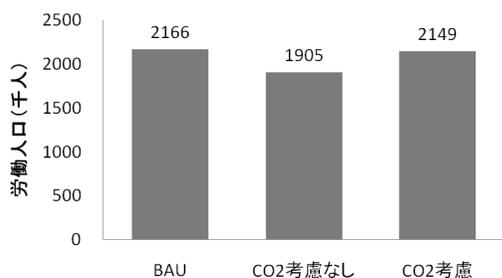


図-8 第三次産業の労働人口の推計結果

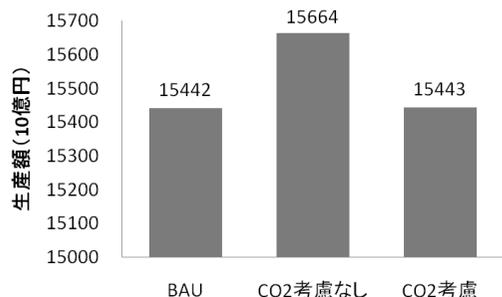


図-9 生産額の推計結果

図-7より第二次産業の場合は最適化によって労働人口は増加する傾向にあり、「CO<sub>2</sub>考慮なし」の場合は約26万人の増加、「CO<sub>2</sub>考慮」の場合は1万7千人増加しておりいずれも増加傾向にある。これは第三次産業から二次産業へ労働者の転換が起こったことを示している。このことは、今回の最適化の条件が第二次産業と第三次産業の間でのみの転換であり、また第三次産業よりも第二次産業の生産性が高いことからこのような結果となったと考えられる。また「CO<sub>2</sub>考慮なし」と「CO<sub>2</sub>考慮」の場合を比較すると、「CO<sub>2</sub>考慮」の場合は労働人口の増加量がかなり低く抑えられている。これは製造業を主とする二次産業と、サービス業を主とする第三次産業では二酸化炭素排出原単位は第二次産業の方が倍近く高くなるため、第二次産業の労働者が増加すると生産額が増加すると同時にCO<sub>2</sub>排出量も増加することになり、そのCO<sub>2</sub>排出量の増加が第二次産業の労働人口の増加を抑える方向に働いたものと考えられる。

また図-8は第三次産業の労働人口の推計結果を表しているが、今回は第二次産業と第三次産業の間でのみ転換が行われているので第二次産業と逆の挙動をしており、「CO<sub>2</sub>考慮なし」と「CO<sub>2</sub>考慮」の両方の場合で労働人口は減少している。

図-9は生産額の推計結果を表す。「CO<sub>2</sub>考慮なし」の場合は2220億円の増加であり、割合で表せば約14%の増加である。一方「CO<sub>2</sub>考慮」の場合は10億円の増加で、割合にすると0.007%とごくわずかな増加量となった。こ

のことは愛知県の産業構造がCO<sub>2</sub>排出量も考慮に入れた上で、最適化された状態に近いことを示す。

## 6. まとめ

今回は愛知県を例に、生産力が最大となる用に産業構造の最適化を行ったが、二酸化炭素の排出を社会的な損失額として計算に入れた場合の結果は、ほとんど産業の転換が起こらない結果となった。この理由の一つとして、愛知県では第二次産業の生産性が第三次産業の生産性よりも高いという特殊な県であったことが挙げられる。日本では第三次産業の生産性のほうが高い都道府県が多く、第二次産業の生産性のほうが高いと基本的に第二次産業の二酸化炭素排出原単位の方が高いため、第三次産業から第二次産業への転換は低く抑えられる傾向にある。また第二次産業と第三次産業の生産性の差が大きいほど転換も起こりやすくなるため、第三次産業の生産性が高く、また第二次産業との生産性の差が大きな都道府県において産業の転換による効果は大きくなると考えられる。

また今回は生産関数を各産業の労働投入量のみで表されるものを用いているが、本来生産要素は労働投入量のみではなく資本も大きく関わっているため、資本も考慮に入れた計算を行う必要がある。

**謝辞：**本研究の一部は環境省循環型社会形成推進科学研究費(K22013)、環境省環境研究総合推進費(E1105)及び日本学術振興会科学研究費(20330050)の助成を受けて行われたものである。ここに感謝の意を記します。

## 参考文献

- 1) 総務省統計局：平成 17 年国勢調査，日本統計協会，2005。
- 2) チャンプラン・コムサク：日本の少子高齢化問題に関する現状と将来への提言，尚美学園大学総合政策学部学生懸賞論文審査委員会，総合政策学部学生懸賞論文 第 10 回，2009。
- 3) 森田倫子：食糧自給率問題-数値向上に向けた施策と課題-，国立国会図書館，調査と情報-ISSUE BRIEF-第 546 号，2006。
- 4) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の都道府県別将来推計人口-平成 19 年 5 月推計--平成 17 年(2005 年)～47 年(2035 年)-，(財)厚生統計協会，CR-ROM，2007。
- 5) 内閣府経済社会総合研究所：県民経済計算年報 平成 19 年版，メディアランド，CD-ROM，2007。
- 6) 厚生労働省：労働統計年報 平成 8 年～平成 16 年，労務行政，1998-2006。
- 7) 南齋規介，森口祐一，東野達：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)，国立環境研究所地球環境研究センター，CR-ROM，2002。
- 8) 国際政策金融公庫，国際協力銀行：カーボンオフセットを巡る排出量取引状況に関するアンケートの収

集結果について，排出権取引プラットフォーム HP，  
2011.<<http://www.joi.or.jp/carbon/index.html>>

*Production*, EarthScan, 2009.

- 9) Mario Giampietro, Kozo Mayumi, Jerome Ravetz :*The Biofuel Delusion: The fallacy of Large Scale Agro-Biofuels*

(2011.8.8受付)

## OPTIMIZATION OF LABOR PRODUCTIVITY AND CO<sub>2</sub> EMISSIONS WITH HUMAN TIME ALLOCATION CHANGE ON CITY SCALE

Mutsuki YAMASHITA, Han JI and Hiroki TANIKAWA

Japan has experienced the first population decline in 2005 after World War II. Due to aging population and low birthrate, it is to be expected that there will be a slowly decrease in the future. Population decline caused decrease total of human time of the city. And the reduction of working hours also cause a reduction in GDP. In order to maintain current level of economy, we need to improve productivity by the way such as changing the industrial structure. And the environmental impacts of such changes also should be considered. As a result of optimization of Aichi's industrial structure in consideration of environmental impact in this paper, there was a shift from secondary industries to tertiary industries. But the effect of the increase in industrial production value by converting the industries was 0.007 percent, and this shows that Aichi's industrial structure is almost close to the optimized state.