

明治期鉄道網形成の費用便益分析

岐阜大学工学部 正会員 森杉 寿芳
岐阜大学大学院 学生員 橋本 有司

1. はじめに

わが国の明治以降の急速な経済成長の時代の中でも特に明治期は、当時の富国強兵、殖産興業の政策に基づいて形成された多くの社会資本が後の経済発展の原動力となったことを考えれば、その歴史の中でも大きな位置を占めているといえよう。そして、当時形成された社会資本の中でも輸送能力において従来より飛躍的な発展をなした鉄道は経済成長の最も大きな原動力となったといつてよいだろう。

本研究は、この明治期鉄道網形成の時代に焦点をあて、その開発効果を測定するための理論モデルの作成と、その実際の便益を貨幣タームを用いて評価することを目的とする。従来、この効果を計量しようとする試みは少なく、それも抽象的な議論にとどまっていたようである。

また、本研究は鉄道という社会資本への投資の例をとることで、今後における公共投資のあり方に一つの指針を与えることも意図している。

2. 基礎資料の収集と整理

明治から昭和初期にかけての鉄道輸送量の推移を、図-1に示す。ここに実線は旅客輸送人キロ、破線は貨物輸送トンキロである。

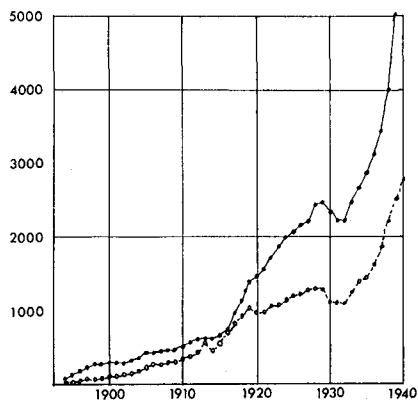


図-1 鉄道輸送量の推移 ^(注1) (単位: 百万人キロ
: 百万トンキロ)

これと、図-2に示すGNPの推移を較べてみると、両者がよく相関しているのがわかる。

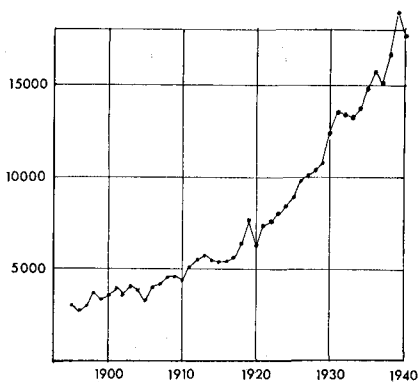


図-2 実質GNPの推移 ^(注2) (単位: 百万円)

さらに、図-3に国鉄と民鉄をあわせた鉄道の営業キロを示す。この変化はむしろ直線的にも見えるが、やはり輸送量に対して大きく関係していると言えよう。

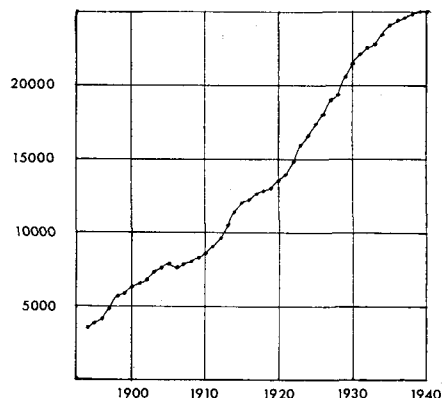
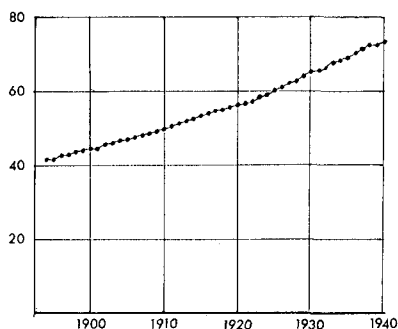


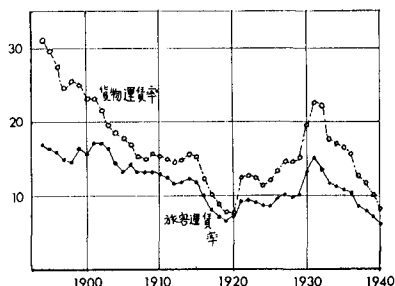
図-3 鉄道営業キロの推移 ^(注3) (単位: km)

図-4には、総人口の推移を示してある。他のデータに比べ、増加の割合は小さいものの、鉄道の営業キロとあわせ、考慮されるべきデータであろう。



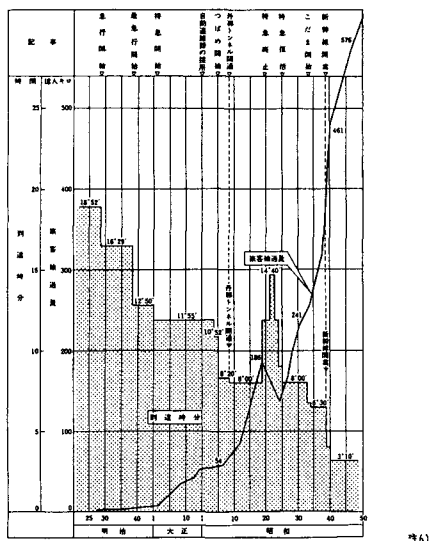
図・4 総人口の推移 (単位: 百万人)

一方、実質鉄道運賃率の推移を図5に示した。輸送量との間は、理論的に予想されるように、ほぼ逆相関の関係が認められる。



図・5 実質鉄道運賃率の推移 (単位: 銭/ト・キロ)

以上、鉄道輸送量とそれに関係すると思われる要因、およびその推移を見てきたが、それに加え、輸送時間が大きな要因となると考えられる。



図・6 東京-大阪間の到着時間の変遷と旅客輸送量

すなわち、輸送時間が短くなればなるほど、いっかえれば、スピードが速くなればなるほど、輸送需要は増大するものと考えられる。その関係を明確にとらえた図6をここに紹介しておく。図6より到着時間短縮と旅客輸送量がきれいに逆相関関係にあることがわかる。

ただし、本研究ではマクロに経済分析を行い、モデルの中に時間の影響を含めることができなかった。それに対しては、鉄道路線の延長によるサービスの向上がある程度、時間の影響を代替できるものと考えている。

すなわち、路線の拡張に伴い、それだけ全国レベルでの到達時間の短縮ははかられたと考えるわけである。

以下、本研究で扱ったモデルと、計算方法、結果について述べる。

3. 社会経済モデルの作成

(1) 仮定

研究を始めるのに際してつぎの仮定をおく。

1) 社会は個人(一定の人口 N 人)、企業、輸送部門(旅客および貨物輸送の2部門)、政府からなるものとする。

2) この社会で生産、消費する財は価格1の合成財、旅客および貨物輸送サービス、労働からのみなるものとする。

3) N 人の個人は、すべて同一の効用関数と同一の所得を持っているものとする。

4) 社会は、長期的均衡状態にあるものとする。

5) 輸送部門はサービスのみを供給し、利潤、およびその建設費等は考えない。

以上の仮定のもとに個人、および企業のそれぞれの行動について述べる。

(2) 個人

個人は、予算制約下で効用最大化行動を行うものとする。

$$\max u(Z, X, L) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } Z + PX = W \quad (2)$$

ただし、 Z は価格1の合成財の消費量、 X は旅客輸送サービス利用量、 L は鉄道路線延長、 P は旅客運賃、 W は所得、 $u(\cdot)$ は効用関数である。

なお、本モデルでは鉄道サービスによる便利さの度合を示す所要時間の代理変数として鉄道路線延長 L を採用している。この L は、個人の効用に直接影響し、その量を個人がコントロールすることができないという意味で公共財とみなしている。

第2の注意すべき点は、本モデルでは個人が購入する輸送サービスは旅客サービスのみであり、貨物輸送サービスは購入しないと仮定している点である。実際には貨物輸送サービスの向上により、物価の安定、低下という結果を生ぜしめ、これが個人の効用を向上させたものと考えられるが、後に述べるように効用関数の推定の際に重共線性が発生したため、この物価安定(低下)効果を無視した。この点は今後に残された課題である。

第3に、旅客輸送サービスには鉄道が形成された場合には、2部門あることを想定している。すなわち、形成された鉄道と人力車である。一方、鉄道がない場合は、 L がゼロになると同時に人力車だけのサービスが可能であるとの想定を行う。しかも、鉄道と人力車が同時に利用可能な場合には、全員が鉄道を利用すると仮定している。本来、この機関分担は大きな問題ではあるが、今回はデータが発見できず、見送らざるを得なかった。

さて、 P, L, W が与えられたとき、この最大化問題を解いて一般財および旅客輸送サービスの需要関数(3)式を得る。

$$Z = Z(P, L, W), \quad X = X(P, L, W) \quad (3)$$

(3)式を(1)式に代入して、間接効用関数(達成可能な効用レベル)

$$v(P, L, W) \equiv u\{Z(P, L, W), X(P, L, W), L\} \quad (4)$$

を得る。また、社会全体の合成財 Z 、および輸送需要量 X は、すべての個人が同一の効用と同一の所得を持つと仮定するので、 $NZ = Z$ 、 $NX = X$ となり、達成可能な効用レベルは、 $N = V$ となる。

(3) 企業

企業は、労働 N 、貨物輸送サービス F を入力し、合成財 Z を生産するものとする。この企業の生産活動は次式で示される。

$$\max \pi = Q - cF - Nw \quad (5)$$

$$\text{s.t. } Q = G(F, L, N) \quad (6)$$

ただし、 c は貨物運賃、 Q は合成財 Z の生産量、 $G(\cdot)$ は生産関数であり、 π は人件費プラス利潤である。この企業の理論でも、上記個人行動の理論と同様に、企業の生産に及ぼす鉄道サービスによる便利さの度合を示す指標として路線延長を採用している。

つぎに、企業が購入する輸送サービスは、個人とは反対に貨物輸送サービスのみであり、旅客サービスは購入しないと仮定している。

貨物サービスに加え、この旅客サービスも購入するという仮定のもとに、(5)、(6)式を修正することもできる。事実、本研究では最初、旅客サービスも含んだ形で、(5)、(6)式を設定した。しかし、後に述べる推定作業の中で、第1に鉄道旅客輸送量のデータが業種と私用に分類されてないこと、第2に旅客輸送需要関数の推定結果(3)式に相当する)が、相関係数、 t 値ともに悪く、採用するに値しない結果を得た、という2点より、このように旅客サービスを無視した生産関数を仮定した次第である。

さて、貨物輸送部門もまた鉄道と海運の2部門からなると想定し、しかも、企業の両者に関する機関分担は、鉄道がない時は海運のみ、鉄道があるときには鉄道のみを利用すると仮定する。

N は一定と仮定しているので、この最大化問題を F について解くと、

$$\frac{\partial \pi}{\partial F} = \frac{\partial G}{\partial F} - c = 0 \quad (7)$$

こうして、貨物輸送需要関数(8)式と合成財の供給関数(9)式が得られる。

$$F = F(c, L, N) \quad (8)$$

$$Q = Q(c, L, N) \quad (9)$$

(4) 市場均衡

P, c, L, N を与件としたとき、未知数は w のみである。 w の決定は、長期的市場均衡条件から導かれる。すなわち、競争の結果、企業の参入、退出が起こり、社会全体では丁度、利潤がゼロになるように企業数が決定される。したがって、社会全体では利潤 $\pi = 0$ となる式となる。

すなわち、均衡所得 w は次式を満足する w である。

$$\pi = Q(c, L, N) - cF(c, L, N) - wN = 0 \quad (10)$$

また、このとき合成財の生産量 $Q(c, L, N)$ と、需要量 $Z(p, L, w)$ は一致するとはかぎらない。その過不足分は、輸出入となるものとする。すなわち、

$$Z(p, L, w) + E \equiv Q(c, L, N) \quad (11)$$

ただし、 E は輸出(入)量を示す。

4. 鉄道建設の効果

いま、次のような政府の政策を考える。

1) 鉄道路線長 $L^0 (= 0)$ から L^1 に

2) 旅客運賃を p^0 から p^1 に

3) 貨物運賃を c^0 から c^1 に変化させる。

このような変化が起きたとき、以前に述べてきた式により、各投入物、価格、および均衡量はすべて変化する。これらの変化の水準を添字 0 および 1 で示す。労働力 N のみを一定としたとき、 $Z^0 \rightarrow Z^1$ ($Z^0 \rightarrow Z^1$), $X^0 \rightarrow X^1$ ($X^0 \rightarrow X^1$), $F^0 \rightarrow F^1$, $Q^0 \rightarrow Q^1$, $\pi^0 \rightarrow \pi^1$, $w^0 \rightarrow w^1$ の総合効果として効用 $v^0 \rightarrow v^1$ の変化を得る。これが用の変化分が求める鉄道網形成の効果であり、これを貨幣タームで評価するのがつぎの課題である。

5. 鉄道網形成の効果の評価方法

個人の効用の変化を貨幣タームで評価するために必要な概念は「支払意思額」である。ここでいう「支払意思額」とは、鉄道網形成という変化があったとき、変化後の効用レベルを維持するという条件のもとに当該変化(すなわち、 p, c, L, w の変化)をあきらめるために必要な補償額の最小値をいう。この概念を等価的偏差 (Equivalent Variation, 略して EV) という。

EV の定義を明確にするためには、最小必要所得 m を定義する必要がある。変化前の状態 $p^0, L^0 (= 0)$ で、変化後の効用レベル v^1 を達成するために必要な最小額、すなわち最小必要所得を $m(p^0, L^0, v^1)$ で示せば、 $m(p^0, L^0, v^1)$ は、次の目的関数の値となる。

$$m(p^0, L^0, v^1) = \min_{Z, X} Z + p^0 X \quad (12)$$

$$s.t. \quad u(Z, X, L^0) \geq v^1 \quad (13)$$

ただし、

$$v^1 = v(p^1, L^1, w^1) \quad (14)$$

(12), (13) 式を Z と X に関して解いて、その値を (12) 式に代入すれば、変化前の状態 (p^0, L^0) のもとに v^1 となり、

かつ、効用レベル v^1 を維持するために必要な最小所得 $m(p^0, L^0, v^1)$ を得る。求める個人の EV は、この $m(p^0, L^0, v^1)$ と変化前の効用の差として定義される。すなわち、

$$EV = m(p^0, L^0, v^1) - w^0 \quad (15)$$

この EV こそ、我々の求める鉄道網形成の純便益に化ならない。社会的開発便益は、(13) 式を人口 $\cdot N$ 倍して求めることができる。この N 倍した (13) 式を、以下のように変形する。

$$\begin{aligned} \Sigma EV &= Nm(p^0, L^0, v^1) - Nw^0 \\ &= Nm(p^0, L^0, v^1) - Nw^1 + Nw^1 - Nw^0 \end{aligned} \quad (16)$$

ここで、 $N\{m(p^0, L^0, v^1) - w^1\} = NEV_{RL}$, $N(w^1 - w^0) = NEV_w$ とおけば、 NEV_{RL} は所得 w の変化分以外の効果に対しての支払意思額を示したものであるから、福祉効果と呼ぶ。 NEV_w は個人の所得の上昇による所得の増加分であり、所得増大効果といい、 GNP に直接寄与した分である。

以下では、福祉効果、および所得の増大効果の測定方法と、その推定結果について述べる。

6. 福祉効果の測定

(1) 測定方法

いま、個人の効用関数を次のように特定化する。

$$u = (Z - \gamma_Z)^{\beta_Z} (X - \gamma)^{\beta} \quad (17)$$

ただし、

$$\beta_Z + \beta = 1, \text{ かつ } \gamma_Z = \alpha_Z + \alpha L \quad (18)$$

ここで、効用最大化問題

$$\max_{Z, X} u = (Z - \gamma_Z)^{\beta_Z} (X - \gamma)^{\beta} \quad (19)$$

$$s.t. \quad Z + pX = w \quad (20)$$

の (20) 式の Z を (19) 式に代入し、 X について解くと、

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial X} &= -\beta_Z p (w - pX - \gamma_Z)^{\beta_Z} (X - \gamma)^{\beta} - \beta (w - pX - \gamma_Z)^{\beta_Z} (X - \gamma)^{\beta-1} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (21)$$

$\beta_Z + \beta = 1$ より、(21) 式を整理すると (22) 式を得る。

$$pX = p\gamma - \beta (w - \gamma_Z - p\gamma) \quad (22)$$

$\gamma_Z = \alpha_Z + \alpha L$ を代入して

$$pX = \alpha_Z (1 - \beta) + \beta w - \beta \gamma p - \alpha (1 - \beta) L \quad (23)$$

(23) 式に対して回帰分析を行えば、 $\alpha_Z (1 - \beta)$ 、 β 、 $\beta \gamma$ 、 $\alpha (1 - \beta)$ の値が求まり、ここからパラメータの値を求めることができる。

一方、 u を X と同様、 Z について解くと

$$Z = \gamma_z + \beta_z (W - \gamma_z - \gamma P) \quad (24)$$

(22), (24) 式を (18) 式に代入し、整理すると、

$$V = (W - \gamma_z - \gamma P) \beta^0 (1 - \beta)^{1-\beta} P^{-\beta} \quad (25)$$

この (25) 式が所得と輸送サービス価格により達成可能な効用レベルを示す間接効用関数である。したがって、最小必要所得 $m(P^0, L^0, V^0)$ は、

$$V^0 = (W^0 - \gamma_z^0 - \gamma P^0) \beta^0 (1 - \beta)^{1-\beta} P^{0-\beta} = (m - \gamma_z^0 - \gamma P^0) \beta^0 (1 - \beta)^{1-\beta} P^{0-\beta}$$

ただし、 $\gamma_z^0 = \alpha_z + \alpha L^0$, $\gamma_z^0 = \alpha_z + \alpha L^0$ (26)

なる式を満足する m の値である。 m について解けば、

$$m = P^0 \gamma + \alpha_z + \alpha L^0 + \left(\frac{P^0}{\beta} \right) (W^0 - P^0 \gamma - \alpha_z - \alpha L^0) \quad (27)$$

である。したがって、求める個人の EV_{RL} は、

$$EV_{RL} = m(P^0, L^0, V^0) - W^0 \quad (28)$$

として求めることができる。社会全体の EV_{RL} は、これを人口・ N 倍して、

$$NEV_{RL} = N m(P^0, L^0, V^0) - N W^0 \quad (29)$$

で得られる。

以上をまとめて手順を示せば、図-7のとおりである。

(2) 推定結果

図-1から図-5のデータについて、1894年(明治27年)から、1940年(昭和15年)までの47年間のデータを(23)式に代入し、重回帰分析を行、た結果、 $\alpha_z(1-\beta) = -2.17$ 、 $\beta = 0.0083$ 、 $\beta \gamma = 94.6$ 、 $\alpha(1-\beta) = 1.72$ 、 t 値はそれぞれ、8.5、2.6、5.9、6.5であった。また、重相関係数は0.974であった。両者ともに十分高い値であることから、この結果は信頼できるものとみてよい。ここから、 $\alpha_z = 261.5$ 、 $\alpha = 0.02$ 、 $\beta = 0.008$ 、 $\gamma = 95.4$ と定めることができる。この結果を(25)式に代入すれば、間接効用関数 V を推定したことになる。

ここで、鉄道の代替交通機関としては、人力車を想定した。人力車の運賃率としては1872年(明治5年)当時の品川-横浜間の32kmの人力車1台当り運賃(68銭)を参考文献7)より引用し、これをキロ当りに換算し、さらにデフレーターを乗じて1934年価格の運賃率に換算した。この値は6.25(銭/人キロ)であった。一方、鉄道の運賃率は図5からわかるようにせいぜい1.7(銭/人キロ)である。以下、各年の個人所得 W および、旅客運賃率 P 、推定されたパラメータ α 、 α_z 、 β 、 γ を、(28)式に代入し、各年の m を求め、福祉効果を計算した。結果は表-1に示す。

この結果をみると、効果を貨幣タームで表わした便益は、GNPの数パーセント程度の値に過ぎない。これは、運賃率の差の大きさを考えれば、むしろ意外な結果である。ここから導かれる結論は、個人が鉄道によって得た恩恵は予想より小さく、それは人々にとって、交通機関を使つての旅行というものがあまりないみがなかつたためであらう。

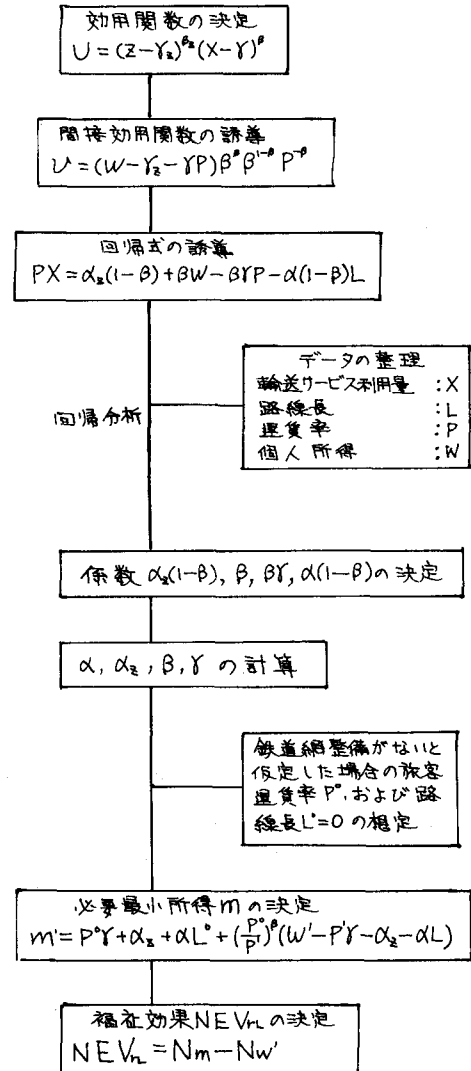


図-7 福祉効果の測定手順

7. 所得の増大効果の測定

(1) 測定方法

生産関数 Q を次のように特定化する。

$$Q = A e^{\beta L + \gamma N} F^{\theta} \quad (30)$$

ここに、 A 、 β 、 γ 、 θ はパラメータ。

長期的均衡条件 $\pi = Q - cF - W = 0$ より

$$Nw + cF = A e^{\beta L + \gamma N} F^{\theta} \quad (31)$$

両辺の対数をとると

$$\ln(Nw + cF) = \ln A + \theta \ln F + \beta L + \gamma N \quad (32)$$

この (32) 式に福祉効果の場合と同様に回帰分析を行えば、それぞれのパラメータの値を求めることができる。

ところで、(31) 式の条件より、

$$\frac{\partial \pi}{\partial F} = \theta A F^{\theta-1} e^{\beta L + \gamma N} - c = 0 \quad (33)$$

$$F = (\theta A e^{\beta L + \gamma N})^{-(\theta-1)^{-1}} c^{(\theta-1)^{-1}} \quad (34)$$

これは、企業の貨物輸送サービスに対する需要関数である。(34) 式に、 L 、 N 、 c を代入して鉄道なしの場合の F^0 を求め、その値を (31) 式に代入すれば、 Nw^0 が求まる。よって、 NEV_w は、

$$NEV_w = Nw' - Nw^0$$

として求まる。

以上の測定手順を、図8に示す。

(2) 推定結果

福祉効果の場合と同様、1894年から1940年までの47年間のデータを取り、(32) 式を用いて重回帰分析を行った結果は、 $\ln A = 6.65$ 、 $\theta = 0.03$ 、 $\beta = 0.046$ 、 $\gamma = 0.00023$ 、 t 値はそれぞれ、18.4、1.33、3.30、2.08であった。また、重相関係数は0.987を得た。

所得の増大効果を、代替交通機関として汽船の運賃率としては、1884年(明治17年)の東京-大阪間(576 km)の海運(三菱汽船)の大口貨物1等から9等の平均トン当たり運賃11円50銭を参考文献7)より引用し、これにデフレーターを乗じた上で、km当りに換算した値を用いた。これは1934年価格で、17.94銭/トンキロであった。一方、鉄道の運賃率はせいぜい3銭/トンキロである。

表1に示してある実質GNPと、鉄道なしを仮定した場合の Nw^0 の伸びの差をみればあきらかなように、 NEV_w の値は、1895年でGNPの約2割から、1940年ではGNPの7割強に達している。

これは、鉄道が全くなしを仮定したため、他のさまざまな影響の相乗効果としてこれだけの値となったのか、それとも、モデルがGNPの自然成長をうまく表現しえなかったためであるのか、はっきりしないが、いずれにせよ、時系列の後半部分は除くとしても、この効果が20~30%とかなりのものだったということだけは言えるだろう。

しかしながら、回帰分析において、相関係数は高い値を得たものの、 t 値は問題を残している。先に述べたこととともに、これは今後の課題のひとつである。

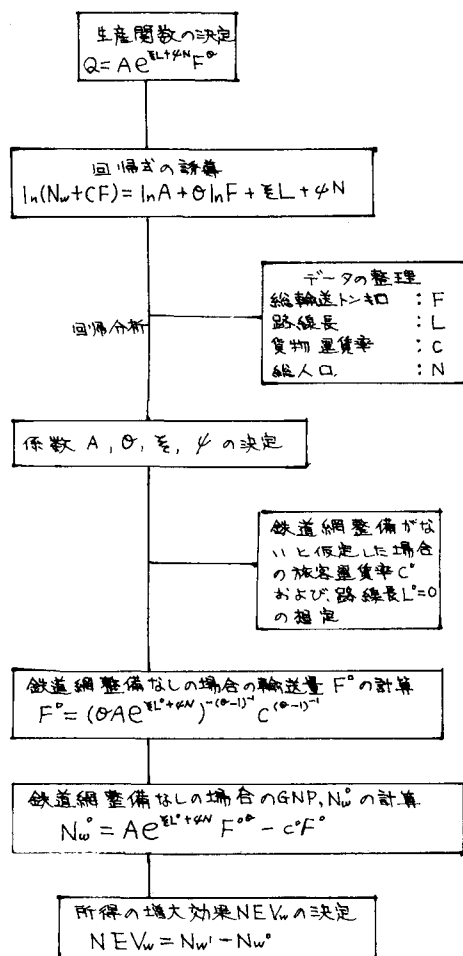


図8 所得の増大効果の測定手順

8. 結論

表-1に福祉効果と所得の増大効果のそれぞれの計算結果、および当年のGNPを5年おきで与えてある。また、表-2には国内粗投資と鉄道投資のデータを示す。

表-1 鉄道網形成の効果 (単位: 百万円)

	GNP	NEV _{rl}	NEV _{ur}	NEV _{rl} +NEV _{ur}
1895	2934	93	570	664
1900	3591	104	1093	1197
1905	3376	104	713	817
1910	4349	120	1506	1626
1915	5398	138	2300	2438
1920	6253	143	2956	3099
1925	8868	194	5263	5457
1930	12402	244	8371	8616
1935	14832	292	10316	10609
1940	17653	363	12706	13070

表-2 国内投資と鉄道投資^{注7)} (単位: 百万円)

	① 生産国民所得	② 国内粗投資	③ 鉄道粗投資	④ ③/① (%)	⑤ ③/② (%)
1896-1900	6726	1026	187	2.8	18.2
1901-1905	10674	1125	161	1.5	14.3
1906-1910	14643	2461	720	4.9	29.3
1911-1915	19463	2962	428	1.6	14.5
1916-1920	44850	7523	629	1.4	8.4
1921-1925	59267	11392	1502	2.5	13.2
1926-1930	62882	12491	1662	2.6	13.3
1931-1935	63951	11295	744	1.2	6.6

鉄道投資額とGNPを比較すると、鉄道投資はせいぜいGNPの5%であり、国内投資と比べても30%である。福祉効果においてはそれほどのものがあつたとは言いきれないが、GNPに対する直接の寄与分であるところの所得の増大効果がかなりの値であり、それは投資額を大きく上回っている。つまり、鉄道網建設は非常に意義のある投資だ、たということであろう。

ただし、代替交通機関の特定にはまだ問題を残している。また、輸送時間のデータがとれないため、代理変数として路線長を採用したことも問題であろう。さらに、個人の消費するさまざまな財サービス価格の安定効果の抽出という課題も残っている。これは、福祉効果が意外に小さな値にとどま、た原因の1つと思われる。

最後に、資料収集にあたっては国鉄岐阜工務局の方गतから多大の恩恵を受けた。ここに記して謝す。

注1) 文献1) PP.423-443 および PP.439 より作成

注2) 文献2) PP.340 より作成、1928~1932年の平均価格基準

注3) 文献1) PP.464-465 より作成

注4) 文献2) PP.340 より作成

注5) 本図は以下の方法で作成した。まず文献1)より旅客、貨物別鉄道営業収入(PP.438-443)、旅客人キロ(PP.482-483)、貨物輸送トンキロ(PP.438-439)を求め、各々の収入を輸送量で除して名目運賃率(円/人キロ、または円/トンキロ)を求め、これに文献3)で求めたデフレーター(1928-1932年基準、PP.134)を乗じて実運賃率を求め、この値を採用した。

注6) 文献4) PP.134 より引用

注7) 文献8) PP.6 および 文献2) PP.340 より作成

参考文献

- (1) 運輸経済研究センター、近代日本輸送史研究会編、「近代日本輸送史-論考・年表・統計-」、成山堂、1979年
- (2) 日本統計研究所編、「日本経済統計集」、日本評論社、1958年
- (3) 大川一司他編、「長期経済統計8・物価」、東洋経済新報社、1967年
- (4) 土木学会編、「近代土木の黎明期-日本土木史シンポジウム記録集-」、1982年
- (5) Morisugi, H, "A Basic Definition of Transport Benefits", submitted to the World Conference on Transport Research held on April 26-29, 1983 at Hambrug (West Germany), 1983
- (6) Varian, H, R, "Microeconomic Analysis", Norton and Company, 1978, pp.215-233
- (7) 鉄道院、「本邦鉄道の社会及び経済に及ぼせる影響」、鉄道院、1916年
- (8) 大川一司他編、「長期経済統計13・鉄道と電力」、東洋経済新報社、1968年