

波及経路行列による産業構造分析

市橋 勝

1 分析の目的

筆者は別稿¹において、日本経済の特徴を把握するために1985年の産業連関表のデータを用いて分析を行った。そこでは以下のことが指摘できることを述べた。

1. 日本における国内最終需要と輸出額を比較すると、前者が後者のほぼ6.7倍であった。
2. にもかかわらず、単位あたりの波及効果²は輸出のほうが大きいことが分かった。その倍率は、約1.25倍であった。
3. その中で大きな影響を与えている産業部門は、独立需要ベクトルの中で大きな構成比を占めている部門であった。それらは、国内最終需要では建設、商業であり、輸出では輸送機械、電気機械などであった。
4. 特に、輸送機械、電気機械は影響力係数の大きい産業でもあるため、輸出の波及効果を大きくすることに貢献していると考えられた。
5. 独立需要ベクトルとして与えられた国内最終需要ベクトルと輸出ベクトルは、その後どのようなプロセスを経て各産業に波及していくのか。これは通常の波及効果分析では示し得ないので、プロセスグラフというツール³を使用した。

1 市橋[5]。

2 単位あたりの波及効果とは、輸入率控除済国内最終需要と輸出のそれぞれの構成比を独立需要ベクトルとして与えた場合の波及効果のことを指している。

3 プロセスグラフは、筆者也含めた共同研究の形で開発されたものであるので、その本格的展開は別稿で著す予定である。

6. それによれば、輸出のほうが波及規模の大きい、かつ波及距離⁴の長い図が描かれた。このことは、輸出インパクトほうが相対的に国内最終需要よりも「効果的な」波及をもたらすという前段の結論を裏付けるものであった。

さて、本稿では、1990年の産業連関表データから日本経済の構造的特徴の分析を進める。上記の諸特徴と比較することで、85年から日本経済はどの程度変化しているのか、あるいは変わっていないのか。また、独立需要が与えられた場合の波及経路が、どのように関連しあっているのかを中心に、詳しく見てみたい。その際に、補助的ツールとしてグラフ理論で使用される隣接行列による演算を用いて、質的特徴把握に利用する。

以下においては、まず90年のデータから国内需要と輸出の構成を抽出し、それぞれによる波及効果の規模を把握し市橋 [5] との比較を簡単に行う。つづいて、隣接行列の演算を援用して投入産出経路の構造を把握し、それが、レオンチェフ逆行列からの影響力係数とどのような点で異なり、そのことが何を意味するか考察する。最後に結論的覚え書きをまとめる。

2 構造的特徴の変化

ここで使用するモデルは、輸入が国内需要に比例するように内生化したレオンチェフ・モデルである。国内需要と輸出需要が与えられたときの、直接・間接の総産出量は以下の体系となる。

$$X=[I-(1-m)A]^{-1}[(1-m)F_d+E] \quad (1)$$

但し、 X は産出総額ベクトル、 I は単位行列、 $(1-m)A$ は輸入率を除去した投入係数行列、 $(1-m)F_d$ は輸入率を除去した国内最終需要ベ

4 波及距離とは、独立需要ベクトルが与えられたときに一定以上規模の波及がいつまで続くものであるかを示すものである。これは、後に示す級数展開計算式の投入係数の累乗項に対応する。

クトル、Eは輸出ベクトル、mは輸入率（国内需要に占める輸入の割合）による対角行列である。

(1)式は、総産出額が国内最終需要と輸出とによって与えられる形式を取っている。ここでの国内最終需要がいわゆる内需であり、輸出が外需である⁵。

さて、1990年産業連関表から、まずこの内需と外需の額を取り出し、85年のデータと比較してみると表1のようになる⁶。

表1：日本の内需と外需（単位：100万円）

年	内需(A)	外需(B)	(A)/(B)
1985	312,921,325	47,544,652	6.74
1990	430,548,201	47,314,465	9.10
成長率	37.59	-0.48	-

驚くべきことに、日本の内需はこの5年間で37.6%もの成長を示しているのに対して、外需は逆にマイナス成長である。周知のように、この時期日本経済はいわゆるバブル期であったため、それが統計的に反映したものと十分考えられる⁷。ここでは、それが年平均7.5%以上もの内需の成長率となって現れているわけである。

このために、外需に対する内需の比率は6.7倍から9.1倍に計算上増加している。すなわち、金額規模そのものから言えばこの5年間で日本経済は内需を増加させてきたと言えなくはない。この原因は、まさしくバブル

5 以下においても、内需とは輸入率控除済みの国内最終需要を指し、外需とは輸出需要のことを指すこととする。

6 総務庁発行1990年及び1985年『産業連関表』より

7 但し、この時期アメリカ、ヨーロッパなども景気拡大局面ではあった。だが、同時に円高の進行が輸出額（円建て）を抑える原因となったのかも知れない。ちなみに、マクロ経済全体の産出額の成長率はこの5年間で、28.5%（年平均5.7%）と計算できる。この時期の日本及びアメリカの景気動向に関して著名なものに宮崎[9]がある。

表2：5年間の内需の成長率による産業順位（単位：%）

	1985内需	1990内需	成長率による順位
1 農林水産	3715765.6	4134049.6	1 対事サービス 1531.0692
2 鉱業	7607.3306	-7983.418	2 鉄鋼 99.846319
3 食料品	24694154. 26391094.		3 建設 62.437471
4 繊維製品	6348561.6	7692605.4	4 パルプ・紙 50.767624
5 パルプ・紙	1721339.1	2595222.2	5 一般機械 47.782860
6 化学製品	2196124.7	2856812.3	6 運送機械 47.062060
7 石油・石炭	2424069.4	2455433.8	7 輸送機械 46.569661
8 窯業・土石	455087.10	492095.71	8 電気機械 44.192604
9 鉄鋼	-67952.67	-135800.9	9 不動産 43.005545
10 非鉄金属	278066.20	236697.55	10 金融・保険 40.262256
11 金属製品	930619.58	1255064.6	11 商業 38.922539
12 一般機械	11106447. 16413425.		12 精密機械 35.283224
13 電気機械	13452811. 19397959.		13 他製造業 35.113526
14 輸送機械	9051411.0	13266622.	14 金属製品 34.863338
15 精密機械	1598026.8	2161862.2	15 対個人サービス 30.835472
16 他製造業	5281173.7	7135580.1	16 化学製品 30.084246
17 建設	50702080	82359177	17 教育・研究 29.293384
18 電力・ガス	4301762.4	4588468.3	18 医療・保健 23.453312
19 水道・廃棄	2381255.1	2873071.8	19 繊維製品 21.170839
20 商業	36744554. 51046468.		20 水道・廃棄 20.653677
21 金融・保険	5979919.2	8387569.6	21 公務 20.396741
22 不動産	27633728. 39517764.		22 通信・放送 20.201709
23 運送	3613168.2	12666702.	23 対公共サービス 19.604739
24 通信・放送	2860419.5	3438273.2	24 農林水産 11.257006
25 公務	16716665	20126320	25 窯業・土石 8.1322054
26 教育・研究	14868993. 19224625.		26 食料品 6.8718294
27 医療・保健	21530051. 26579561.		27 電力・ガス 6.6648465
28 対公共サービス	2476298.3	2961770.2	28 石油・石炭 1.2938747
29 対事サービス	315491.20	5145880.0	29 非鉄金属 -14.87726
30 対個人サービス	34603623. 45273814.		30 鉱業 -204.9437
31 事務用品	0	0	31 事務用品 -
32 分類不明	0	17991.537	32 分類不明 -
合計	312921325	430548201	全体 37.589920

(単位：百万円)

期の「好況」の反映であったと見る事ができる。この時期日本は、いざなぎ景気を凌ぐ大型景気の到来であるとの認識を示していた⁸。

そこで、この「高成長」した内需の内容を32部門別に見たものが表2である。

この表から明らかなように、対事業所サービスの成長率はこの5年間で15倍にもなっており、異常値とも言える値となっている。いま、この内容を連関表の基本分類表（527部門）によって見てみると、情報サービス⁹、土木建設サービス業¹⁰などが大きなウエートを占めていることが分か

8 宮崎 [9] 第1章参照。

9 行番号 8512-011

10 行番号 8519-031。その他にも、その他の対事業所サービス業（8519-099）の額が大きい。

る。これらはいずれもバブル期において成長著しかったであろうと予想がつく産業である。

表2からはそのほかにも、鉄鋼、建設、パルプ・紙などのいわゆる「重厚長大型」産業が軒並み高成長率を示していることが分かる。建設業はともかくとして、鉄鋼やパルプ・紙などの70年代のリーディング産業は意外にも高成長を保っているのである。日本経済においてこれらの産業は、今でもなお影響力のある産業として注目しておく必要があるだろう。

さて、このようなバブル期の成長経済は、産業構成において如何なる変化をもたらしたのであろうか。次に、これを構成比別に見てみると表3の通りである。

表3では、今度は対照的に極めて安定した構成比を確認することができる。若干の変化があるだけで、構成比はこの5年間でほとんど同じままである。若干の変化で指摘できることは、内需においては17:建設の構成比が幾分上昇したこと、外需においては14:輸送機械と13:電気機械の構成比が逆転したこと、鉄鋼の構成比が低下したこと、などである。つまり、この若干の変化からは、建設産業が日本の国内需要でより重要な位置を占めるに到ったこと、電気機械産業が輸出のトップ・リーディング産業に躍り代ったこと、などを指摘できる。

その他の点では、ほとんどこの5年間にその構成比において変化は見られていない。むしろ、この構造の安定性のほうが注目すべき特性であるだろう。

主要な特徴は、国内最終需要の構成比では、17:建設、20:商業の比重が大きく、30:対個人サービス、22:不動産、3:食料品が続いており、この上位5業種の順位はこの5年間で不変である。輸出構成では、13:電気機械部門、14:輸送機械のシェアがやはり圧倒的であり、これに続いて12:一般機械、23:運輸部門となる上位4業種の順位は変わっていない。若干の変化は、シェア第5位の業種が9:鉄鋼から6:化学製品になっていることである。化学製品は、鉄鋼、商業などの輸出におけるシェアを抜い

表3：内需と外需の構成比

	内需		外需	
	1985	1990	1985	1990
1 農林水産業	1.1874440	0.9601827	0.1669714	0.0983272
2 鉱業	0.0024310	-0.001854	0.0325062	0.0306904
3 食料品	7.8914898	6.1296493	0.6130111	0.5026010
4 繊維製品	2.0288044	1.7867001	2.3134231	1.6259720
5 パルプ・紙	0.5500868	0.6027715	0.6321089	0.6943310
6 化学製品	0.7018137	0.6635290	4.5651149	5.3710170
7 石油・石炭	0.7746577	0.5703040	0.7784976	0.5391649
8 窯業・土石	0.1454317	0.1142951	1.1642024	1.0173527
9 鉄鋼	-0.021715	-0.031541	6.4596686	3.6329228
10 非鉄金属	0.0888613	0.0549758	1.1260299	1.0933273
11 金属製品	0.2973973	0.2915038	1.7395437	1.2345336
12 一般機械	3.5492778	3.8122156	11.066803	12.212662
13 電気機械	4.2991035	4.5054095	20.571133	24.311850
14 輸送機械	2.8925516	3.0813326	24.509168	23.350552
15 精密機械	0.5106800	0.5021185	2.8301879	2.9082903
16 他製造業	1.6877001	1.6573243	3.0568737	3.1211786
17 建設	16.202820	19.128909	0	0
18 電力・ガス	1.3747105	1.0657269	0.0451238	0.0434602
19 水道・廃棄	0.7609756	0.6673055	0.0005720	0.0078876
20 商業	11.742425	11.856156	6.2449736	4.3920479
21 金融・保険	1.9109976	1.9481139	0.5757535	0.9118564
22 不動産	8.8308869	9.1784762	0.0017856	0.0086781
23 運輸	2.7525028	2.9419941	8.2475185	8.2397381
24 通信・放送	0.9141018	0.7985803	0.0450313	0.0825984
25 公務	5.3421303	4.6745799	0	0
26 教育・研究	4.7516716	4.4651505	0.0252457	0.0217586
27 医療・保健	6.8803399	6.1734228	0.0007761	0.0004459
28 他公共サービス	0.7913485	0.6879067	0.0938612	0.0841243
29 対事サービス	0.1008212	1.1951925	0.6927950	0.9930219
30 対個人サービス	11.058250	10.515388	0.3907821	0.8496513
31 事務用品	0	0	0	0
32 分類不明	0	0.0041787	2.0105352	2.6199556
計	100	100	100	100

での結果となっている¹¹⁾。

ここで今、内需と外需を独立需要ベクトルとして(1)式によって計算した結果が、表4である。この計算は、内需及び外需の構成比を一定にしたま

11 基本分類表によると、化学製品の輸出分野において取り分けてその額が大きい業種は、写真感光材料（行番号2073-011）、その他の環式中間物（行番号2032-029）などである。写真感光材料は、もちろん写真現像関連の産業で使用されるものであるが、近年この財の大量の需要者は半導体製造会社であると考えられる。シリコン・ウエハーに集積回路を焼き付けて製造する際にこの写真感光材料が大量に必要とされるからである。

なお、環式中間物(cyclic compound)とは、環式構造を持つ有機化合物の中間財のことで、鎖式構造(chain)を有する脂肪族化合物(aliphatic compound)と対比されるものである。但し、両者は便宜的な分類にすぎない。環式化合物の例としては、ベンゼン環を有する芳香族化合物(aromatic compound)がある。

表4：内需と外需の逆行列による波及効果結果

	1985		1990	
	内需	外需	内需	外需
1 農林水産業	5.4909682	1.1847604	4.0380226	0.8470007
2 鉱業	0.4979131	0.7720437	0.3799881	0.5659467
3 食料品	11.693985	1.3331285	8.9283617	1.0325056
4 繊維製品	3.6686604	4.1306622	2.9992589	2.9284914
5 パルプ・紙	4.3184739	3.8258205	4.0226334	3.6116819
6 化学製品	5.5809009	11.366333	4.8458187	11.363669
7 石油・石炭	4.1992384	6.1928172	2.1996721	3.1431178
8 窯業・土石	2.3147504	2.7616314	2.0935387	2.4491251
9 鉄鋼	4.9990162	24.548166	4.3418832	16.551878
10 非鉄金属	1.2655278	4.9111589	1.2231416	4.8838000
11 金属製品	3.0818497	4.0887605	3.4532597	3.8798081
12 一般機械	5.9621643	16.297212	5.5545014	16.549769
13 電気機械	7.5273885	32.248920	7.6842125	37.075580
14 輸送機械	6.2102208	40.580660	6.0674240	39.643042
15 精密機械	0.7581328	3.5170275	0.7006200	3.5028654
16 他製造業	6.2559378	9.8997721	6.3415141	10.671090
17 建設	17.745455	1.0284788	20.587376	1.1428960
18 電力・ガス	4.2549054	4.4420777	3.1979774	3.1589997
19 水道・廃棄	1.5226356	0.6165073	1.3720853	0.5929194
20 商業	17.435677	13.855524	17.744493	12.477651
21 金融・保険	6.6866511	6.5732071	6.6229146	5.5669336
22 不動産	11.130025	2.0594540	11.410915	2.0274581
23 運輸	8.9222713	15.132528	8.2858417	14.213362
24 通信・放送	2.4102754	1.5210250	2.3771381	1.5229238
25 公務	5.4177668	0.2188620	4.7215105	0.1701885
26 教育・研究	5.4676510	2.2170458	6.0490395	5.5732286
27 医療・保健	6.9394091	0.0768830	6.1876267	0.0012195
28 他公共サービス	1.4210613	0.8320454	0.9001072	0.2933342
29 対事サービス	5.9206523	6.2806165	10.837536	12.041044
30 対個人サービス	11.296127	0.4740654	11.062274	1.1670234
31 事務用品	0.4355650	0.4177377	0.3999706	0.3973400
32 分類不明	1.4356091	4.1540819	0.9633750	3.4935761
計	182.26687	227.55901	177.59403	222.53947
倍率(E/F)	1.2484935		1.2530796	

まで、1単位の需要が与えられた時の波及効果規模を示すものである。

表からは、構成比がこの5年間でほぼ同じだっただけでなく、波及効果においても85年時とほぼ同じ結果が得られることが分かる。日本経済の技術的生産構造は、この5年間でそれほど大きく変化していないと言うことができるわけである¹²。従って、前稿[5]で指摘した内容は90年においても当てはまることになる。

1. 波及効果の最終的な結果は、外需によるインパクトのほうが大きい。
90年の外需の波及効果は内需の波及効果の約1.25倍で5年前とは

¹² 経済「構造」の安定性に関しては、尾崎[12]の単位構造系(unit system)による研究がある。

とんど同じである。

2. 産業部門別の波及効果では、構成比の大きな部門が大きな影響を与えている。内需においては17: 建設、20: 商業が、外需においては14: 輸送機械、13: 電気機械がそれぞれ大きな波及をもたらしている。

ここで注目すべきであるのは、外需における構成比においては13: 電気機械がトップになっていたにも関わらず、波及効果においては依然として14: 輸送機械のほうが大きいということである。これは、電気機械と輸送機械の投入構造とその連関の強さに依存するものであるのだが、これを見るには波及経路の規模を把握する必要がある。この点は後に述べる。

結局表4は、日本経済においては内需よりもむしろ外需によって効率よく波及効果を期待できるという構造が、依然として維持されていることを示している。

3 波及経路の質的構造

3.1 波及経路の有限性

さて、本節では以上で見てきた日本の産業構造の連関状況を把握してみたい。通常、独立需要が与えられたときの直接・間接に必要な産出総額を求める際にはレオンチェフ逆行列が用いられることは、周知の通りである。このとき産業の投入及び産出の連関状況を把握するには影響力係数と感応度係数が使用されるが、その経済的意味付けの明瞭さから影響力係数のほうがより重要な指標といえるだろう¹³。

いま、90年のデータを用いてレオンチェフ逆行列から求めた影響力係数を大きさ順に示したものが、表5である。

31: 事務用品の他に、14: 輸送機械、9: 鉄鋼、13: 電気機械、12: 一般

13 感応度係数に意味がないなどと言っているわけでは当然ない。だが、各産業でちょうど1単位ずつの需要が発生した時の産出総額であるという指標は実用性に乏しい。

表5：影響力係数の順位 (1990年)

31	事務用品	1.5286386
14	輸送機械	1.4475638
9	鉄鋼	1.3968687
13	電気機械	1.1781815
12	一般機械	1.1510150
6	化学製品	1.1487915
5	パルプ・紙	1.1473029
4	繊維製品	1.1394919
11	金属製品	1.1220173
3	食料品	1.1070756
16	他製造業	1.1002378
32	分類不明	1.0733753
10	非鉄金属	1.0581214
15	精密機械	1.0503980
17	建設	1.0450858
8	窯業・土石	0.9799497
23	運輸	0.9621194
2	鉱業	0.9464991
29	対事サービス	0.9398846
27	医療・保健	0.9391679
1	農林水産	0.9008802
30	対個サービス	0.8838036
28	他公共サービス	0.8561975
19	水道・廃棄	0.8144312
25	公務	0.8125937
18	電力・ガス	0.8102041
20	商業	0.7912832
21	金融・保険	0.7876179
24	通信・放送	0.7641586
26	教育・研究	0.7601001
7	石油・石炭	0.6869996
22	不動産	0.6699427

機械などの産業の値が大きいことなどから、これらの産業から他産業への投入が相対的に大きいと分かる¹⁴。

この影響力係数は、自産業及び他産業への投入の大きさを示すものであるから、当然投入先の数を示すものではない。すなわち、レオンチェフ逆行列は究極的波及効果の大きさのみを求めるものであって、連関先の数（取引産業数の大小）や波及の経路数を示すものではない。そこで、それらのものを求めるには逆行列とは違った方法によって行いが必要があり、通常それは逆行列を級数展開することによって求められる。先の(1)式をもとにしてそれを表せば、

14 影響力係数の上位産業は、この5年間で変化が見られる。85年時と比べて上位5位に入っているのは事務用品と鉄鋼である。市橋[5]参照。

$$X = (I + \bar{A} + \bar{A}^2 + \bar{A}^3 + \dots) [(I - m)F_0 + E] \quad (2)$$

但し、 $\bar{A} = (I - m)A$ である。

右辺第一括弧の中が波及プロセスを示していることになる¹⁵。すなわち、 \bar{A} は需要一単位に対しての直接投入を示し、その需要（投入）を受けて行う第2ステップの投入が \bar{A}^2 であり、その投入を受けて行う第3ステップでの投入が \bar{A}^3 であり、…という具合に無限に波及が続くことを表している。

ところで、この目的とすべきステップ次数であるが、実証上必ずしも高次のステップを必要としないことが分かっている。実用上は3～5次のステップで、全波及効果のほとんどを説明できることが分かっているのである¹⁶。

90年の全国連関表の場合、投入係数行列の級数展開に対応する逐次計算を行い、その結果が逆行列の計算値のどれぐらいの割合になるかを示すと、表6のようになる。ただし、表の値は全産業の平均値である。

この表から明らかなように、波及効果は有限の、しかもかなり低次の逐

表6：投入係数行列の逐次計算の結果と逆行列値との比較（単位：%）

	逐次計算値／逆行列値
1次	34.1
2次	63.6
3次	81.0
4次	90.3
5次	95.1

15 この累乗は、実際の1回1回の取引回数に対応するという意味で「ステップ」という言葉を用いる。

16 例えば、池田〔6〕。

次計算によって逆行列に収束することが分かる¹⁷。

3.2 波及経路行列

さて、上記の(2)式を使用すれば、波及経路の数を示すことが可能となる。いま、もとの投入係数表 \bar{A} の値が例えば 0.01 より大きいもののみを取り出して、隣接行列 (adjacency matrix)¹⁸ W を作成する。すなわち、

$$W = [w_{ij}] \quad (3)$$

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & (a_{ij} > 0.01) \\ 2 & (a_{ij} \leq 0.01) \end{cases} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

とする。この隣接行列は、当該産業間で一定水準以上の取引の有無を記述するものとなり、要素 w_{ij} が 1 となっている部門数を数えれば取引産業数、すなわち波及経路数を把握することが可能となる。

そして、グラフ理論の定理¹⁹を援用すれば、隣接行列 W の累乗計算は各累乗 (各ステップ) に対応する当該産業間の波及経路総数 (取引総回数) を示すものとなるのである。

いま、この隣接行列による 5 乗までの経路総数を求め、三角行列化したものを波及経路行列と呼ぼう。それが表 7 である。

17 同様の結果は、85年のデータからも導かれる。更に、このことは全国データだけではなく、地方の連関表によっても得られる。

我々の実験では、85年の広島県、高知県、徳島県、愛媛県、広島市の各データ (移輸入率を除去したもの) において、3次ステップで9割以上逆行列に収束することが分かった。地方のデータでは全国よりも早く逆行列に収束する原因は自給率に関連している。域内需要を域外から調達せざるを得ない地域 (自給率が低い地域) ほど、逆行列に早く収束するのである。域内での波及継続性があまり保証されず、中断しやすいためである。

機会があれば、この結果はいずれ別稿で示す。

18 隣接行列の考え方は、グラフ理論によるものを参考にしている。例えば、Clark and Holton [1]、木村・大藪 [8]、野崎 [10]、石畑 [7]などを参照。

19 この定理の証明については Appendix A を参照。

この表の結果から、総数 1,454,686 の経路が存在することが分かる²⁰。表の最下行の計は各部門の投入経路総数を表し、最右列の計は各部門の産出経路総数を示す。行列の各要素は当該部門間の取引総数を表す。例えば、表 7 の 14: 輸送機械の投入を見てみると、29: 対事業所サービスとの値が 7133 となっている。これは、5 次ステップまでで 14: 輸送機械と 29: 対事業所サービスとの間に、直接間接に 7133 回の取引が存在したことを意味しているのである²¹。他の各要素も全て同じ意味で解釈できる。

なお、産出経路総数（行和）によれば、いわゆるサービス、金融、エネルギー関連部門の値が相対的に大きいことが特徴となっている。これは、いわゆる基礎財産業の特徴である²²。内需において大きなシェアを有している 20: 商業などは、141,821 本もの産出経路を示している。

次に、投入構造の特徴を見るために、表 7 における投入経路数（列和）の順序と、先の影響力係数表 5 とを比較したものが、表 8 である。表において、同じ部門どうしは実線で結んである。

この表の意味は次のようなものである。表左側の投入係数総数は当該部門の取引総数を示し、右側の影響力係数はその取引額の規模を示している。よって、この表における当該部門どうしの実線が右上がりであるならば、取引回数がそれほど多くないにも関わらず 1 回ずつの取引額が大きいことを表す。逆に、実線が右下がりであるならば、取引総額はそれほど大きくないものの取引回数及び相手が多いことを表しているのである。

例えば、9: 鉄鋼は投入経路数で言えば下から 4 番目に位置しているにも関わらず、影響力係数は 3 位であることから、取引経路当たりの規模が大きいことが分かる。また、15: 精密機械は影響力係数では中位であるが、

20 なお、全ての産業部門で取引があるならば 5 次ステップまでの経路総数は、 $32^0 + 32^1 + 32^2 + 32^3 + 32^4 = 1,108,378,624$ 通りとなるから、表における取引経路数はその 0.13% ほどである。

21 念のために言えば、間接取引とは、輸送機械部門から発生した各部門との取引を通じて最終的に対事業所サービスにたどり着く取引のことである。

22 40 年ほど前からこのような特徴が指摘されている。例えば、Simpson and Tsukui [13] を参照。ここでは、アメリカ、日本、ノルウェー、イタリア、スペインの産業構造の類似性及びエネルギー、サービス関連産業のブロック化について述べられている。

表7：波及経路行列（5次ステップまで）その1

	32	8	15	17	14	12	25	6	13	28
	分類不明	窯業・土石	精密機械	建設	輸送機械	一般機械	公務	化学製品	電気機械	他公共
27 医療・保健	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28 他公共	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
31 事務用品	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 精密機械	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
25 公務	53	56	48	39	30	29	28	30	30	24
4 輸送機械	64	73	56	47	32	31	33	34	32	33
19 水道・電気	132	134	108	93	70	72	140	129	132	128
8 窯業・土石	221	221	208	171	147	139	140	129	132	128
32 分類不明	362	358	337	284	252	233	226	213	223	202
1 農林水産	466	445	350	333	255	246	268	264	239	306
5 食料品	489	439	408	358	320	299	311	284	276	313
30 対策	632	567	512	452	403	393	371	384	367	370
2 鉱山	1048	895	846	802	749	674	675	620	634	599
10 非鉄金属	1281	1160	1109	925	922	841	825	773	772	746
17 建設	1508	1397	1319	1124	1042	965	953	899	900	877
9 鉄鋼	1603	1470	1403	1174	1118	1028	1021	955	953	919
5 パルプ・紙	1873	1720	1572	1379	1227	1144	1145	1103	1086	1132
12 一般機械	1879	1678	1587	1369	1298	1212	1163	1134	1124	1108
6 化学製品	2065	1878	1751	1508	1390	1283	1288	1221	1203	1233
11 金属製品	2099	1912	1794	1542	1427	1318	1304	1247	1241	1236
26 教育・研究	2382	2144	2055	1744	1662	1535	1502	1427	1423	1394
13 電気機械	2420	2183	2061	1768	1665	1554	1506	1452	1445	1416
7 石油・石炭	2753	2575	2382	2066	1874	1719	1715	1625	1624	1602
14 輸送機械	2936	2654	2479	2158	2012	1872	1810	1764	1752	1720
18 電力・ガス	4016	3699	3489	2975	2766	2541	2512	2386	2378	2354
24 通信・放送	4105	3724	3466	3024	2796	2610	2512	2468	2449	2401
22 不動産	5269	4801	4492	3898	3613	3359	3254	3159	3149	3083
16 他製造業	7681	6974	6546	5653	5267	4890	4775	4600	4573	4518
20 金属	8380	7688	7210	6212	5771	5318	5253	4987	4982	4915
21 金融・保険	8767	8541	8335	7228	6666	6184	6040	5840	5806	5718
23 運輸	10117	9252	8653	7483	6932	6418	6293	6041	6014	5953
29 対策	10411	9488	8887	7679	7133	6615	6470	6225	6161	6110
計	86012	78584	73560	63488	58839	54522	53498	51341	51066	50484

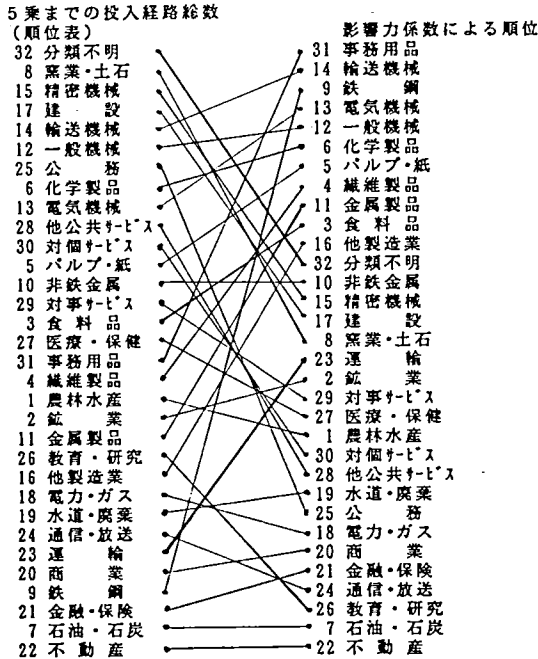
	30	5	10	29	3	27	31	4	1	2
	対策	パルプ・紙	非鉄金属	対策	食料品	医療・保健	事務用品	化学製品	農林水産	鉱山
27 医療・保健	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
28 他公共	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31 事務用品	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
15 精密機械	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25 公務	27	24	31	18	21	24	19	21	18	25
4 輸送機械	31	26	37	19	23	26	24	29	19	30
19 水道・電気	79	66	79	60	57	66	45	60	53	66
8 窯業・土石	123	118	131	119	104	112	106	104	95	111
32 分類不明	193	198	209	193	178	179	184	170	163	179
1 農林水産	315	273	254	230	269	268	236	255	261	212
5 食料品	314	287	276	288	276	274	248	261	263	238
30 対策	375	362	365	337	325	332	298	321	309	316
2 鉱山	567	601	589	603	561	529	555	519	520	510
10 非鉄金属	761	743	747	778	689	674	641	655	642	641
17 建設	861	858	867	861	785	772	764	752	732	744
9 鉄鋼	936	901	929	929	828	828	776	795	765	798
5 パルプ・紙	1124	1082	1083	1026	1011	997	970	963	951	902
12 一般機械	1124	1093	1079	1082	1004	989	956	984	945	935
6 化学製品	1230	1186	1180	1169	1106	1084	1057	1058	1034	1005
11 金属製品	1242	1209	1202	1181	1126	1104	1074	1070	1052	1021
26 教育・研究	1387	1370	1370	1386	1261	1235	1207	1207	1177	1177
13 電気機械	1413	1385	1398	1384	1267	1263	1207	1224	1186	1207
7 石油・石炭	1586	1577	1541	1526	1471	1413	1427	1384	1374	1331
14 輸送機械	1708	1701	1675	1657	1586	1532	1500	1496	1473	1450
18 電力・ガス	2343	2305	2296	2296	2140	2083	2052	2030	1995	1967
24 通信・放送	2381	2380	2356	2291	2190	2138	2107	2089	2060	2022
22 不動産	3049	3046	3002	2866	2803	2738	2705	2674	2632	2598
16 他製造業	4485	4439	4401	4363	4094	4010	3929	3912	3839	3787
20 金属	4878	4822	4775	4766	4472	4357	4302	4245	4182	4111
21 金融・保険	5672	5641	5558	5478	5210	5077	5018	4957	4888	4790
23 運輸	5889	5837	5764	5718	5398	5264	5188	5138	5059	4969
29 対策	6069	6027	5946	5897	5547	5426	5329	5288	5201	5123
計	50162	49537	49102	48621	45782	44795	43918	43639	42866	42269

表7：波及経路行列（5次ステップまで）その2

	11	26	16	18	19	24	23	20	9	21
	金属製品	教育・研究	他製造業	電力・ガス	水運・農業	通信・放送	運	商	業	金融・保険
27 医療・保健	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28 他公共サービス	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31 事務用品	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 精密機械	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25 公務	25	22	20	22	19	18	18	12	17	11
4 繊維製品	28	28	22	29	24	19	22	13	20	12
19 水運・農業	66	61	56	64	58	54	55	47	51	40
8 鉱業・土石	106	99	96	99	90	89	81	71	68	62
32 分類不明	174	157	155	156	140	134	129	104	109	92
1 農林水産	183	218	206	189	174	209	143	150	113	131
3 食料品	222	231	222	213	197	218	185	175	146	153
30 貯蓄サービス	319	279	290	279	256	253	250	222	226	188
2 鉱業	488	482	465	453	414	384	400	313	312	230
10 非鉄金属	634	601	596	572	531	514	531	447	455	395
17 建設	727	685	679	663	609	580	590	491	480	429
9 鉄鋼	782	748	727	718	662	636	667	541	539	478
5 パルプ・紙	847	855	846	789	731	753	671	600	533	526
12 一般機械	924	847	865	817	755	746	749	638	625	554
6 化学製品	952	939	938	890	828	816	791	675	617	594
11 金属製品	984	962	952	898	832	832	799	679	637	599
26 教育・研究	1156	1094	1089	1046	967	931	960	799	774	699
13 電気機械	1190	1095	1104	1063	979	961	970	819	808	713
7 石油・石炭	1270	1258	1226	1179	1082	1040	1026	845	825	747
14 輸送機械	1423	1319	1338	1268	1167	1143	1142	964	953	859
18 電力・ガス	1853	1856	1817	1746	1613	1558	1565	1299	1241	1145
24 通信・放送	1983	1837	1867	1764	1622	1585	1578	1332	1322	1156
22 不動産	2541	2369	2392	2271	2090	2036	2030	1710	1688	1490
16 他製造業	3692	3487	3501	3328	3070	3002	2987	2526	2447	2205
20 商業	3974	3828	3789	3629	3341	3257	3238	2707	2616	2376
21 金融・保険	4656	4419	4426	4210	3873	3772	3738	3144	3075	2749
23 運輸	4823	4597	4586	4375	4028	3927	3903	3278	3191	2869
29 貯蓄サービス	4776	4729	4508	4508	4152	4058	4035	3400	3307	2971
計	41050	39120	38999	37241	34302	33525	33268	28001	27175	24503

	7	22	計
	石油・石炭	不動産	
27 医療・保健	0	0	1
28 他公共サービス	0	0	1
31 事務用品	0	0	1
15 精密機械	0	0	6
25 公務	11	7	797
4 繊維製品	14	10	940
19 水運・農業	35	26	2149
8 鉱業・土石	48	44	3712
32 分類不明	77	68	6031
1 農林水産	82	91	7624
3 食料品	99	105	8393
30 貯蓄サービス	155	118	10626
2 鉱業	208	217	17730
10 非鉄金属	280	266	22117
17 建設	325	308	25549
9 鉄鋼	347	329	27303
5 パルプ・紙	368	370	31361
12 一般機械	420	368	32006
6 化学製品	414	422	34823
11 金属製品	427	416	35418
26 教育・研究	514	485	40563
13 電気機械	542	477	41125
7 石油・石炭	555	553	46171
14 輸送機械	645	571	49687
18 電力・ガス	828	822	68624
24 通信・放送	859	791	69240
22 不動産	1143	1030	89080
16 他製造業	1654	1523	130158
20 商業	1758	1682	141821
21 金融・保険	2083	1925	164884
23 運輸	2153	2010	171100
29 貯蓄サービス	2231	2066	176205
計	18315	17100	1454686

表 8 : 投入経路数と影響力係数の順位比較



経路総数が多いことから他産業との小規模の取引が多いことを知ることができる。

外需において大きなシェアを占めている 13: 電気機械や 14: 輸送機械は、影響力係数の大きな産業として位置しているが、同時に投入経路総数においても上位にある。特に、輸送機械は上位 5 位に位置しており、電気機械と比較して投入経路が多いことが分かる。この投入経路の多さが、輸送機械の波及効果の強さの特徴なのである。第 2 節で見たように、電気機械はこの 5 年間で外需における構成比を伸ばしているにも関わらず、逆行列による波及効果では相変わらず輸送機械のほうが大きかった。この原因は、表 7 に見るように輸送機械の波及経路の多さにあるのである。

とりわけ、輸送機械は 29: 対事サービス、23: 運輸、21: 金融・保険な

どとの取り引き回数が多い。本論で掲載していないが、レオンチェフ逆行列表による計算結果では、輸送機械の波及が大きいのは、自部門の他に9: 鉄鋼、13: 電気機械、20: 商業などである。このことは次のことを示している。鉄鋼、電気機械、商業などの産業と輸送機械は取り引き回数が少ないものの、1回当たりの取り引き額が大きい。逆に、対事サービス、運輸、金融・保険などとは1回当たりの取り引き額は少ないものの、多数回の取り引きを直接・間接に行っているわけである。

このように、波及経路行列は逆行列表とはまた違った産業連関の特質を浮き彫りにしていることが分かる。むしろ、逆行列表によっては把握し得ない連関構造の質的な特質（ここでは波及経路数）を側面から補完する役割を果たし得ることが分かるのである。

4 結論的覚え書き

本稿では次の諸点の結論を得た。

第一に、85年と90年の5年の間に日本経済の内需と外需がどのように変化しているのかを見た。バブル期の反映もあって、内需の成長率は極めて高いことが分かったが、その構成比は内需も外需もこの5年間では大きな変化を遂げていないことが明かとなった。

第二に、従って、内需と外需をそれぞれ独立需要ベクトルとして与えたときに必要となる直接・間接の総産出量を生み出す波及効果も、5年前のデータとほぼ同じ結果になった。すなわち、日本経済は90年現在においても、外需による波及効果のほうが約1.25倍ほど大きいいわば「外需依存」構造を有している、ということである。

第三に、その波及効果の経路・プロセスはレオンチェフ逆行列では把握しきれない。我々は、グラフ理論の定理を援用して計算し、一定水準以上の波及効果を有する経路数把握した。これにより、1ステップ当たりの投入が大きくないものの投入経路が多い諸産業、逆に投入経路が少ないものの1ステップ当たりの投入規模が大きいために逆行列値及び影響力係数が

大きくなっている諸産業などの存在が明らかとなった。これらは逆行列によって計算される影響力係数などでは把握しきれない特徴であった。

以上本稿では、連関表による従来の量的効果の把握にとどまらず、波及経路の数という質的構造を示すことにより、日本経済の構造連関を多角的に捉える一つの方法を試みた。

この質的構造の把握というのは、産業連関分析史上においては既に1965年のYan and Ames[15]以来様々な形で行われてきているが、近年特にグラフ理論やネットワーク理論との関連で再び注目されつつある分野である²³。但し、本稿で行ったような隣接行列の演算による波及経路数の把握は、いまだ試みられてはいない。

(追記)

本稿作成に当たっては、高知大学助教授飯國芳明氏及び池田啓実氏から助言を得た。記して感謝したい。無論、本稿における誤謬は筆者一人の責任に帰する。

平成7年8月25日 脱稿

23 Olsen [11], Defourny and Thorbecke [2], Holub and Schnabl [4], Slater [14]などを参照。

Appendix

A 隣接行列の累乗に関する定理について

ここで証明すべきグラフ理論の定理は以下のものである。

定理：A.1 n 個の頂点 a_1, a_2, \dots, a_n をもつあるグラフ G の隣接行列 $W=[w_{ij}]$ において、通常の行列積で t 乗 W^t を作りその第 ij 成分を $w_{ij}[t]$ とすると、任意の整数 $t \geq 0$ に対して次のことが成立する。

$$w_{ij}[t] = (\text{a}_i \text{ から } \text{a}_j \text{ に到達する長さ } t \text{ の経路の総数})$$

(証明)

まず、 $t = 1$ の場合には、隣接行列の定義から明かである。長さ 1 の経路とは、部門 i と j との間に有向辺があるかどうか（投入係数行列の場合取引があるかどうか）である。

$t \geq 2$ の場合。 a_i から a_j に到達する長さ t の経路の総数は、

(a_i から a_k に到達する長さ $t - 1$ の経路の総数) \times (a_k から a_j に到達する長さ 1 の経路の総数)

である。但し、 a_k は a_j の一つ手前の頂点。数学的帰納法によりはじめの項は $w_{ik}[t-1]$ に等しいので、結局、 W^t の第 ij 成分は、

$$w_{ij}[t] = \sum_{k=1}^N w_{ik}[t-1] \cdot w_{kj}$$

となる。これは、 a_i から a_j に到達する長さ t の経路の総数を示す式に他ならない。

参考文献

- [1] Clark, J. and Holton, D. A., *A First Look at Graph Theory*, World Scientific Publishing Co. 1991
- [2] Defourny, J. and Thorbecke, E., "Structural Path Analysis and Multiplier Decomposition Within a Social Accounting Matrix Framework," *The Economic Journal*, 94, March, 1984, pp.111-136.
- [3] Hawkins, D. and Simon, H. A., "Some Conditions of Macroeconomic Stability," *Econometrica*, Vol.17, July-October, 1949, pp.245-248.
- [4] Holub, H. W. and Schnabl, H., "Qualitative Input-Output Analysis with Variable Filter," *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 141, 1985, pp.282-300.
- [5] 市橋 勝, 「日本経済の質的構造と内需拡大問題」行財政総合研究所『行財政研究』第25号 1995年 7月.
- [6] 池田啓実, 「地域産業政策のための構造分析」『高知論叢』第49号 1994 3月
- [7] 石畑 清, 『アルゴリズムとデータ構造』, 岩波書店, 1989.
- [8] 木村春彦・大藪多可志, 『情報科学概論』, 共立出版, 1989.
- [9] 宮崎義一, 『複合不況』, 中公新書, 1992.
- [10] 野崎昭弘, 『離散系の数学』, 近代科学社, 1980.
- [11] Olsen, J. A., "Input-output models, directed graphs and flows in networks," *Economic Modelling*, Oct., 1992, pp.365-384.
- [12] 尾崎 巖, 「経済発展の構造分析 (三)」『三田学会雑誌』73巻5号 1980年 10月.
- [13] Simpson, D. and Tsukui, J., "The Fundamental Structure of Input-Output Tables, An International Comparison," *The Review of Economic and Statistics*, Vol.32, No.4, November 1965, pp.434-446.
- [14] Slater, P. B., "The Determination of Groups of Functionally Integrated

Industries in the United States Using a 1967 Interindustry Flow Table,"
Empirical Economics, Vol.2, 1977, pp.1-9.

- [15] Yan, C. and Ames, E., "Economic Interrelatedness," *Review of
Economic Studies*, Vol.32, 1965, pp.299-310.