

第 5 章

ネットワークの特性と費用便益分析

第5章 ネットワークの特性と費用便益分析

東北大学大学院情報科学研究科教授

森杉 壽芳

東京工業大学大学院理工学研究科助教授

上田 孝行

1 一つの経済システムとしてのネットワークの捉え方

ネットワークという用語は多方面で使用され、日常的に厳密に定義しないで使用されることも多々有る。それと同様に、ネットワークが生み出す外部性という概念も厳密に定義されないままに言われ、伝統的経済学において議論されてきた種々の外部性との異同についても曖昧な場合がある。費用便益分析の立場からは、とりわけ、便益/費用として多数の項目を計測するという実務的な立場からは、まずは、いわゆる“ネットワークの外部性”を含むネットワークの種々の特性を明確に定義する必要がある。

公共投資により整備される社会基盤施設の多くは、ある程度の空間的な広がりを持ち、その範囲で一つのシステムとして機能するという意味でネットワークの構造を持つ。その代表は交通施設と通信施設であり、それらのネットワークは言うまでもなく、ノード(結節点)とリンク(区間)で表現される。また、ネットワークを含む経済システムでは、宮城(1994)を参考して、次のような経済主体(利害関係主体)を想定することができよう。

利用者) サービスの消費者であり、家計、企業の両方を含む。

サービス生産者) インフラ(施設)を使用して、資本、労働、その他を投入してサービスを生産する主体。

インフラ所有者) インフラを建設して保有し、インフラを使用するサービス生産者から料金を徴収する。

政府) 家計から一括税を徴収して、サービス生産者とインフラ所有者に補助金を支払う。

これらの主体は、必ずしも相互に独立ではなく、実際には同じ主体が兼ねている場合も多い。例えば、国鉄時代の鉄道では、政府がサービス生産者とインフラ所有者も兼ねており、また、自家用車の場合は、利用者が自ら運転しているという意味で交通サービスの生産者を兼ねている。

2 ネットワークの特性

ネットワークの特性は、第一に、これらの主体の内、どの主体の視点で見るとによって分類され、第二に、ネットワークを構成するノードとリンクに着目して分類され

る。前者の視点からは、ネットワーク外部性と言っても、消費/生産されるサービスがネットワーク内での経路またはリンクペアでラベル付けされることを除けば、伝統的な経済学においてよく知られた概念に他ならない。リンクとノードに着目する後者の立場からは、公共投資がネットワークの物理的条件のどの部分の改変を意図しているのか、そして、それがネットワーク全体の構造を通して最終的にどのようにサービス水準を変化させるかが重要になる。港湾、空港の整備は主としてノードの改良であり、道路や鉄道の整備は一般にはノードとリンクの両方の改変を含む。

宮城(1994)はこのような主体の中で特にサービス生産者の重要性を指摘しており、しかも、その行動をノードとリンクからなるネットワークの構造との関係で捉える必要があることを主張している。交通経済学あるいは公営企業論をはじめとする伝統的経済学においては、このサービス生産者の行動について料金規制や参入規制の観点から多くの研究が蓄積されてきたが、実際の費用便益分析で扱うと同じ程度の現実的ネットワークを想定した分析はほとんど見られない。

以上の基本的な立場を踏まえ、最近特にネットワークの外部性と呼ばれるいくつかの概念を明確に整理し、そして、それらを経済学における伝統的な概念と対応付けてみる。なお、ネットワーク一般における外部性の定義は、宮城(1994)が、通信ネットワークにおける外部性については、三友(1995)が参考となる。

ネットワークの接続範囲の拡大

ネットワークの外部性として強調されるのは、ネットワークの接続範囲が拡大する事が、そのネットワークに参加する個々の利用者にとって望ましい、あるいは効用の増大をもたらすという性質である。接続範囲の大きさが通信のようにネットワークへの総加入者数で表わされると、加入者数が増えるほど個々の利用者の効用が増大して、さらに加入者数が増加するというメカニズムが働く。個々の利用者が接続する番地によって区別されるとすれば、ネットワークによって提供されるサービスは、少なくとも番地のペア数だけあり、ある番地の利用者は総加入者の数だけ多様なサービスを利用できるようになる。ここで、注意すべきは、これは実際に利用されるサービスの総量が増大していくことで後で述べるようなサービス生産者の規模の経済を経て料金(価格)が低下することだけでなく、実際にはそれだけの数のサービスを全て利用されていなくても、利用できる可能性(option)が拡大することから効用が増大するという効果もあることである。

サービス生産者の規模の経済性

サービス生産者が規模の経済性を持つことは伝統的な経済学において多数論じられている。ネットワークの観点からは、リンク部分での規模の経済性とノード部分での規模の経済性に分けて考えることができる。リンク部での規模の経済性は、リンク部に関する費用に固定費用が存在するとして、例えば、バス、列車あるいは船舶などの

一台当たり資本費や運行費用が固定費用となり、その乗車人数や積載量によらず凡そ一定額を要する。乗車人数や積載量の一単位当たりの平均費用に含まれる固定費用は低減していく。また、リンク部でも、港湾や空港などでも、積み替えなどを行うためのクレーン等は同様に固定費を発生させ、規模の経済性を持つ。さらに、サービス生産者はリンクとノードの両者で発生する規模の経済性を活用して、自らがネットワークの中でサービスを供給する範囲を効率的に決定して、複数のサービスを供給することによる範囲の経済性を実現できる。例えば、空港会社が拠点空港を中心にしてハブアンドスポーク型の路線網を形成して、複数路線の輸送サービスを供給するなどである。

混雑

リンク部やノード部にはそれらを同時に利用できる上限である容量があり、そのため、多数のサービス生産者が同時に利用する際には混雑が発生する。混雑現象は、一般に、社会的限界費用と私的限界費用を乖離させることになり、サービスが効率的に供給されない結果になってしまう。

インフラ建設の規模の経済性

ネットワークの形態を有するインフラは、その建設において規模の経済性が発揮される。複数のリンクが接続しているノード部では、ノード部が共有されているために建設費用が節減される。ただし、あるノード部に対して後からリンクを追加して接続していく場合には、ノード部の大規模な改良が必要になる場合もあり、必ずしも建設費用の節減が期待できなくなる。例えば、ターミナル駅において鉄道新線が追加的に接続する場合に大規模な高架工事や地下工事が必要になる場合などがそれに当たろう。

以上のように、ネットワークの各部で潜在的には規模の経済性が発揮される可能性があり、実際にそれは多くの場面で顕在化している。しかし、規模の経済性が常に顕在化するとは限らないことにも注意が必要である。特に、ある限られた空間の中でネットワークを発展させていけば、ノードやリンクが密に配置されていくことになり、既に来上がっている部分と接続するための改良工事などは追加的に多大な費用を要する場合もあり、また、後から追加される部分の建設は工事がより困難な箇所となる場合が多いため、費用は増加する。利用者から見ても、ノードやリンクが密になると交差点部などでの混雑が増大してサービスレベルが低下していくと考えられる。従って、規模の経済性はネットワークがある程度の規模を越えて密になると発揮されにくくなることに注意しなければならない。

3 ネットワークの特性を明示した便益帰着分析と主要な便益 / 費用項目の計測法

先に整理したようなネットワークの特性を明示したモデルは、交通ネットワークを例として、本章付録「一般化された交通ネットワークの便益帰着分析」のように表わすことができる。このモデルのフレームで、社会資本整備の便益(費用)の発生と帰着の構造を考えると、表1のような便益帰着構成表にまとめることができる。表中のそれぞれのセルには、ネットワークに関わる主体と影響の項目別に便益 / 費用の計算式が記されている。細部については、付録にあるモデルの解説を参照されたい。

ここで、その表に現れる各項目の計測に際して注意を促すべき点として、以下を列挙しておく。

便益 / 費用の計測に当たって、サービス需要量 / 供給量および内生的に決定される価格や時間などの変数は、事業の有無のそれぞれの場合について、均衡モデルによって算出しなければならない。これは、交通需要予測に用いられる4段階推定法を典型として、均衡概念と整合的でない手法で予測した場合には、変数間の整合性が保たれない(例えば、分布交通量の予測で用いるサービス変数と分担交通量で用いるその水準が乖離しているなど)という問題を回避するために必要である。

特に、交通ネットワークの場合は、既にネットワークを対象とした均衡理論の膨大な蓄積が有り、また、規模の経済性や範囲の経済性が顕著でない場合については、既に実務レベルでそれを適用するための計算機パッケージソフトがパソコンレベルで利用できるように多数開発されており、かつ、ほとんどが容易に入手可能である。それらを積極的に活用すべきである。

規模の経済性や範囲の経済性が顕著な場合の均衡計算については、理論的には既にある程度の蓄積(例えば、小森・上田・宮城・森杉(1998))が有り、それら実務へ適用するための数値解法(例えば、Naguraney(1993))についても現在積極的に開発が進められているので、それらを参考にして計算に取り組まなければならない。

サービス生産者の費用関数については、それを推定するに当たって統計的な取り扱いに十分な注意が必要であり、特に規模の経済と範囲の経済が存在しているかどうかを費用関数から確認しておく必要(例えば、公共交通の事業主体について宮城・中津原(1995))が有る。

いずれのセルについても、便益 / 費用額を算出するには厳密には線積分の処理が必要であるが、実務的には第2次項までの近似を前提として、いわゆる台形公式によ

る計算も可能である。ただし、事業による内生変数の変化が大きい場合には、線積分の区間を複数の区間に分割して、その区間毎に台形公式で近似して計算し、その上で分割した区間の全部について合計する方が正確(上田・森杉(1996)を参照)である。

これまで存在していなかったリンクやノードが新たに整備される場合には、新規のサービスが提供されると見なすことができる。表1において、料金や所要時間の変化による利用者便益は線積分の形式ではあるものの、いわゆる消費者余剰の変化分で計測するものとしてある。しかし、これまで存在していなかったサービスについては事業無の場合の一般化価格(所要時間も金銭化して含めた費用)を無限大と設定して消費者余剰の変化分を計算することになり、需要関数が非常に安定的に推定されない限りは、計算された便益は著しく信頼性を欠いてしまう。そのような場合には、一つは、新規サービスともっとも代替的な関係にある既存サービスの一般化価格をもって新規サービスの整備無の場合の価格とすること(上田(1996))ができる。そして、もう一つには、新規サービスと代替的なサービスのグループを定義して、グループ全体に対する需要と代表的な一般化価格を算出し、サービスのグループに対する消費者余剰の変化分で便益を定義すること(上田・森杉(1996))ができる。この方法であれば、整備無の場合に新規サービスの一般化価格が無限大であったとしても、それへの需要も存在しないため、グループ全体の代表的な一般化価格は既存の代替的なサービスの一般化価格について、平均などの代表値として算出されることになる。従って、整備有無の両方の場合についてある有限な安定した値として代表的な一般化価格が定義されることになる。

整備によって新規サービスが提供されるようになることは、ネットワークの外部性として言われる接続範囲の拡大が利用者の効用を高めるという特性に直接的に関係する。新規のサービスが提供されることは、それが需要として顕在化するだけでなく、潜在的な選択の多様性を広げる。このような選択の多様性による効用を表現する効用関数として、Miyagi and Morisugi(1996)、小林(1991)はロジットモデルにおけるログサム関数が適している事を論証している。また、近年の新貿易経済学や新経済地理学(例えば、Krugman(1991)など)では伝統的にミクロ経済学で用いられてきたCES型効用関数がサービスのVarietyがもたらす効用を表現できるものとして多用されている。小林(1991)は選択の多様性が広がることが効用をもたらすのは、利用者側が持つ不確実性(Demand Side Uncertainty)を考慮した場合に期待効用が増大することに起因すると解釈しており、その上でロジットモデルのログサム関数が期待効用を表わすとしている。従って、このような選択の多様性の便益までも計測する場合には、ロジットモデルのログサム関数またはCES関数と同じ形式の効用関数(厳密には間接効用関数)を用いて、それと整合的な需要関数を推定して便益を計測する必要が

ある。第4章3-2で解説されているような確定論的な一般均衡モデルでは、このような Option や Variety による効用は外部性として表現されることになり、いわゆるセカンドベストの状態が発生する要因になる。従って、このような効用の変化も他の外部性と同様にセカンドベスト経済の下での間接便益として計測する必要があるだろう。

一方、災害時の代替路が確保されるという、いわゆるネットワークの冗長性がもたらす便益は、サービスの供給側にある不確実性に起因している。新規サービスがこの意味で利用可能になる場合には、災害時と平常時についてネットワークの信頼性解析に基づいてサービス供給量と価格・所要時間等を計算する必要がある。その上で、ネットワーク全体を一つのシステムと見なして、その信頼性の向上に対する支払意思額の変化(例えば、多々納(1997)、上田(1996)など)を算出する必要がある。

4 料金設定に応じた便益帰着分析

ネットワークの特性として、規模の経済性と混雑の存在が重要であることは既に説明した通りであり、そして、それらの特性は限界費用料金を正当化する根拠となってきた。費用便益分析の立場からは、本来はサービスの料金がどのように形成されているかについても、複数のシナリオを設定して、端的に言えば、料金の設定毎にそれぞれを異なる事業代替案と見なして比較評価しなければならない。しかし、実際には料金設定を様々に変えて分析を行うことは非常に少ない。

表2は、表1の便益帰着構成表で表わされるような整備事業に対して、交通サービスの生産者が限界費用料金を設定している場合について便益帰着構成表を示したものである。この表1と表2の違いは、表1では交通サービスの生産者が被る費用変化が固定費用の変化とサービスの供給量に依存した可変費用の変化の両方を含んでいるが、表2では固定費用だけである点である。従って、限界費用料金の場合には、社会的便益を構成するのは、いわゆる時間短縮便益やサービスの利用に伴って利用者が付带的に負担する費用の節約便益が主であり、交通サービス生産者の収入増加はキャンセルされている。

なお、混雑緩和によって既存サービスの所要時間が変化することの便益は、ネットワーク全体の全てのサービスについて所要時間が計算されている場合には、既存サービスについての消費者余剰の変化分を計測することで便益を算出できる。ただし、金本(1996)が指摘するように、既存サービスについて混雑税(時間費用に関する限界費用料金として)が課されている場合には、既存サービスの混雑緩和便益を算出する必要はない。

5 今後の研究と実務の方向について

ネットワークの特性、とりわけ、規模の経済性については、従来から社会資本サー

ビスの特徴として挙げられながらも実際の交通需要予測やそれに基づく費用便益分析では十分には考慮されてきたとは言いがたい。規模の経済性や範囲の経済性あるいは選択の多様性と言った特性は伝統的に経済学の中で分析されてきた概念であり、特に交通経済学、公営企業論、あるいは産業組織論などで盛んに議論されてきた。しかし、実際に空間的広がりを持つネットワークを具体的に取り扱う形で経済理論が発展したとは筆者には見えない。一方、交通計画あるいは交通工学の分野ではネットワークを数学的に表現し、かつ、実際のデータを用いて交通量等を推定する手法が精力的に開発されてきた。しかし、経済学が伝統的に議論してきたこれらの概念を明示した分析は乏しいと言える。経済学と計画・工学の両方の知見を活かし、かつ、実務に供し得るような理論と手法の開発は、筆者が見る限りは、これまでの知見を丁寧に整理する労力は要するものの、特段に新しい概念を構築するといった仕事ではないように思われる。ネットワークを一般化して扱う手法は、サービスの数を表わすラベルを多用せざるを得ないことを除けば、伝統的な経済学の理論と整合させることは難しくない。現在、中央官庁で用意されている費用便益分析のマニュアル(指針)は、残念ながら、ネットワークの特性を明示した分析を解説しているとは言えない。マニュアルは理論や手法の発展を受けて常に改定されるべきものであるとすれば、是非とも、ネットワークの諸特性を明示したマニュアルが目指される事を望みたい。

参考文献

- 上田孝行(1996)「プロジェクト評価」森杉壽芳・宮城俊彦編『都市交通プロジェクトの評価』第5章, コロナ社, pp.109-114, 1996.5.
- 上田孝行(1997)「防災投資の便益評価 - 不確実性と不均衡の概念を念頭に置いて - 」, 土木計画学研究・論文集 No.14, 土木学会.
- 上田孝行・森杉壽芳(1996)「社会基盤施設の新規整備便益の定義と計測に関する一提案」, 土木学会中部支部 96 年度発表会第 IV 部, 1997.3.
- 金本良嗣(1996)「交通投資の便益評価 - 消費者余剰アプローチ - 」, 日交研シリーズA-201, 日本交通政策研究会, 1996.
- 小林潔司(1991)「公共システム整備のための評価指標 - 研究系譜と今後の課題 - 」, 土木学会論文集, No.425, pp.81-90, 1991.
- 小森俊文, 上田孝行, 宮城俊彦, 森杉壽芳(1998)「規模の経済性を持つ交通ネットワークの便益帰着分析」, 土木計画学研究・論文集 No.15, pp.205-215, 1998.
- 多々納裕一(1997)「不確実性下のプロジェクト評価: 課題と展望」, 土木計画学研究・講演集 No.20(2), 土木学会.
- 三友仁志(1995)『通話の経済分析-外部性と料金の理論-』, 日本評論社, 1995.
- 宮城俊彦(1994)「ネットワーク競争の経済理論と交通政策への応用」, 土木学会論文集, No.500, pp.11-20, 1994.

- 宮城俊彦，中津原勢司(1995)「公共輸送企業の効率性分析」，土木計画学研究・講演集 No.17，pp.761-764,1995.
- Nagurney, A. (1993) , *Network Economics - A Variational Inequality Approach -* , Kluwer Academic Publisher, 1993.
- Miyagi, T. and Morisugi, H. (1996). “A Direct Measure of The Value of Choice Freedom”, *Papers in Regional Science*, Vol.75, No.2, pp.121-134, 1996.
- Krugman, P. (1991). *Geography and Trade*, MIT Press.

表1 便益帰着構成表

主体 項目	インフラ所有者	交通サービス生産者	個人(代表的交通利用者)	一般企業	政府	合計
リンク, ノードの 投資額の変化	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} \sum_{(i,j) \in L^{\vartheta}} dI_{ij}^{\vartheta}]$ $-\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} \sum_{i \in L^{\vartheta}} dI_i^{\vartheta}]$					
リンク, ノードの 維持費の変化	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} \sum_{(i,j) \in L^{\vartheta}} dM_{ij}^{\vartheta}]$ $-\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} \sum_{i \in L^{\vartheta}} dM_i^{\vartheta}]$					
リンク, ノードの 賃料の変化	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} \sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \sum_{(i,j) \in L^{\vartheta}} \delta_{k,ij} d\rho_{ij}^v]$ $+\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} \sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \sum_{i \in N^{\vartheta}} \varepsilon_{k,i} d\rho_i^v]$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} \sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \sum_{(i,j) \in L^{\vartheta}} \delta_{k,ij} d\rho_{ij}^v]$ $-\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} \sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \sum_{i \in N^{\vartheta}} \varepsilon_{k,i} d\rho_i^v]$				0
交通サービスの生 産費用の変化		$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{v \in N^v} \sum_{k \in P^v} dc_k^v]$ $-\sum_{v \in N^v} dK^v]$				
交通価格の変化		$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [\sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \phi_k^v dy_k^v]$ $+\sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} y_k^v d\phi_k^v]$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} \sum_{h \in P^k} \sum_{i \in P^k} n^{kr} X_h^{kr} \sigma_{h,k} d\phi_k]$ $-\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} \sum_{h \in P^k} \sum_{i \in P^k} n^{kr} X_h^{kr} \sigma_{h,i} d\xi_i]$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{r \in N^r} \sum_{\vartheta \in A^{\vartheta}} \sum_{h \in P^{\vartheta}} \sum_{k \in P^k} n^{r\vartheta} X_h^{r\vartheta} \sigma_{h,k} d\phi_k]$ $-\sum_{r \in N^r} \sum_{\vartheta \in A^{\vartheta}} \sum_{h \in P^{\vartheta}} \sum_{i \in P^i} n^{r\vartheta} X_h^{r\vartheta} \sigma_{h,i} d\xi_i]$		
交通所要時間の 変化			$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} \sum_{h \in P^k} \sum_{(i,j) \in L} n^{kr} X_h^{kr} w^{kr} \delta_{h,ij} dt_{ij}]$ $-\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} \sum_{h \in P^k} \sum_{i \in N^p} n^{kr} X_h^{kr} w^{kr} \delta_{h,i} dt_i]$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{r \in N^r} \sum_{\vartheta \in A^{\vartheta}} \sum_{h \in P^{\vartheta}} \sum_{(i,j) \in L} n^{r\vartheta} X_h^{r\vartheta} w^{r\vartheta} \delta_{h,ij} dt_{ij}]$ $-\sum_{r \in N^r} \sum_{\vartheta \in A^{\vartheta}} \sum_{h \in P^{\vartheta}} \sum_{i \in N^p} n^{r\vartheta} X_h^{r\vartheta} w^{r\vartheta} \delta_{h,i} dt_i]$		
補助金の変化	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} dT^{\vartheta}$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{v \in N^v} dT^v$			$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} dT^{\vartheta}]$ $-\sum_{v \in N^v} dT^v]$	0
税金の変化			$-\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} n^{kr} d\tau^{kr}$	$-\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{r \in N^r} \sum_{\vartheta \in A^{\vartheta}} n^{r\vartheta} d\tau^{r\vartheta}$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} n^{kr} d\tau^{kr}]$ $+\sum_{r \in N^r} \sum_{\vartheta \in A^{\vartheta}} n^{r\vartheta} d\tau^{r\vartheta}]$	0
合計	$\sum_{\vartheta \in N^{\vartheta}} \Delta\pi^{\vartheta}$	$\sum_{v \in N^v} \Delta\pi^v$	$\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} n^{kr} EV^{kr}$	$\sum_{r \in N^r} \sum_{\vartheta \in A^{\vartheta}} n^{r\vartheta} \Delta\pi^{r\vartheta}$	0	SNB

表2 交通サービス生産者が限界費用料金を採用している場合の便益帰着構成表

項目 \ 主体	インフラ所有者	交通サービス生産者	個人(代表的交通利用者)	一般企業	政府	合計
リンク, ノードの投資額の変化	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{\theta \in N^{\theta}} \sum_{(i,j) \in L^{\theta}} dI_{ij}^{\theta}] - \sum_{\theta \in N^{\theta}} \sum_{i \in L^{\theta}} dI_i^{\theta}]$					
リンク, ノードの維持費の変化	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{\theta \in N^{\theta}} \sum_{(i,j) \in L^{\theta}} dM_{ij}^{\theta}] - \sum_{\theta \in N^{\theta}} \sum_{i \in L^{\theta}} dM_i^{\theta}]$					
リンク, ノードの賃貸料の変化	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [\sum_{\theta \in N^{\theta}} \sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \sum_{(i,j) \in L^{\theta}} \delta_{k,ij} d\rho_{ij}^v + \sum_{\theta \in N^{\theta}} \sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \sum_{i \in N^{\theta}} \varepsilon_{k,i} d\rho_i^v]$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{\theta \in N^{\theta}} \sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \sum_{(i,j) \in L^{\theta}} \delta_{k,ij} d\rho_{ij}^v - \sum_{\theta \in N^{\theta}} \sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \sum_{i \in N^{\theta}} \varepsilon_{k,i} d\rho_i^v]$				0
交通サービスの生産費用の変化		$-\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{v \in N^v} dK^v$				
交通価格の変化		$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{v \in A^v} \sum_{k \in P^v} \gamma_k^v d\phi_k^v$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} \sum_{h \in P^r} \sum_{l \in P^k} n^{kr} X_h^{kr} \sigma_{h,k} d\phi_k - \sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} \sum_{h \in P^r} \sum_{l \in P^k} n^{kr} X_h^{kr} \sigma_{h,l} d\xi_l]$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{r \in N^r} \sum_{\theta \in A^{\theta}} \sum_{h \in P^r} \sum_{k \in P^{\theta}} n^{\theta r} X_h^{\theta r} \sigma_{h,k} d\phi_k - \sum_{r \in N^r} \sum_{\theta \in A^{\theta}} \sum_{h \in P^r} \sum_{l \in P^{\theta}} n^{\theta r} X_h^{\theta r} \sigma_{h,l} d\xi_l]$		
交通所要時間の変化			$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} \sum_{h \in P^r} \sum_{(i,j) \in L} n^{kr} X_h^{kr} w^{kr} \delta_{h,ij} dt_{ij} - \sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} \sum_{h \in P^r} \sum_{i \in N^p} n^{kr} X_h^{kr} w^{kr} \delta_{h,i} dt_i]$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{r \in N^r} \sum_{\theta \in A^{\theta}} \sum_{h \in P^r} \sum_{(i,j) \in L} n^{\theta r} X_h^{\theta r} w^{\theta r} \delta_{h,ij} dt_{ij} - \sum_{r \in N^r} \sum_{\theta \in A^{\theta}} \sum_{h \in P^r} \sum_{i \in N^p} n^{\theta r} X_h^{\theta r} w^{\theta r} \delta_{h,i} dt_i]$		
補助金の変化	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{\theta \in N^{\theta}} dT^{\theta}$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{v \in N^v} dT^v$			$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [-\sum_{\theta \in N^{\theta}} dT^{\theta} - \sum_{v \in N^v} dT^v]$	0
税金の変化			$-\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} n^{kr} d\tau^{kr}$	$-\oint_{\alpha \rightarrow \beta} \sum_{r \in N^r} \sum_{\theta \in A^{\theta}} n^{\theta r} d\tau^{\theta r}$	$\oint_{\alpha \rightarrow \beta} [\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} n^{kr} d\tau^{kr} + \sum_{r \in N^r} \sum_{\theta \in A^{\theta}} n^{\theta r} d\tau^{\theta r}]$	0
合計	$\sum_{\theta \in N^{\theta}} \Delta\pi^{\theta}$	$\sum_{v \in N^v} \Delta\pi^v$	$\sum_{r \in N^r} \sum_{k \in A^k} n^{kr} EV^{kr}$	$\sum_{r \in N^r} \sum_{\theta \in A^{\theta}} n^{\theta r} \Delta\pi^{\theta r}$	0	SNB