

施設一交通システムの評価手法 I

——交通ネットワークの評価——

荒井良雄

目 次

Iはじめに
II評価手法の定式化
1 問題の所在
2 データ形式
3 評価の測度
III道路ネットワークの評価
1 評価の前提
2 データ
3 アクセス条件の推定
4 アクセス条件の変化
5 アクセス条件の格差
6 高速道路整備の効果

I はじめに

地域の交通システムは社会・経済活動の基礎的な条件であり、その適否は当該地域の諸活動の盛衰に大きな影響を及ぼす。交通システムの変化が地域社会に与えるインパクトについては早くから関心が持たれ、鉄道建設や道路整備がもたらした地域の変貌についてはすでに多くの研究事例が報告されている。最近では高速道路や新幹線の建設に伴うインパクトが多く議論の対象とされ、国土計画・地域計画といった政策的見地からインパクトの実態調査や事前評価に対する強い要求が出され、それに対応して膨大な数の研究報告がなされている。

こうした研究は多くの場合、交通システムの変化を所与の条件として、それによって引き起こされるさまざまな影響を検討する形をとつて

おり、交通システムの機能そのものの評価については、従来あまり検討されていない。地域の交通を個々別々の交通手段・路線としてではなく、ひとつのシステムとして考察するためには、個々の道路・鉄道等の線的な交通手段をネットワークとして組み合わせ、さらにそれを地域という面的な広がりに関係づけるといった複雑な作業を必要とする。そのため、地域交通を括する概念としての交通システムは抽象概念としては一般に受け入れられても操作的な分析・議論の対象にはなりにくいという事情がある。特に交通システムを数的に記述することには諸々の困難が伴ない、数的アプローチによってその機能を記述・評価するための手法はネットワーク理論を応用した Taaffe and Gauthier (1973)¹⁾など少数のものが知られているに過ぎない。

ところで、地域の交通システムを評価するにあたって、交通システムを単なる交通手段の集合としてではなく、地域に存在する人口、諸事業所あるいは各種施設といった交通需要者を含んだシステムとして考える必要があろう。役所・学校・病院・体育施設等の公共施設、あるいは集荷センター・配送センター等の物流施設、さらには企業の本支社・工場・支店・営業所等の事業所といった社会・経済活動に関わるさまざまな拠点をその空間的性質の共通性から一括して施設と呼ぶことにはすれば、一般に交通は利用者が施設を利用するための空間的移動であると定義することができよう²⁾。この定義にしたがえば、地域の交通システムの機能を評価する

1) Taaffe, E. J. and H. L. Gauthier, Jr. (1973) : *Geography of Transportation*, Prentice-Hall, 奥野隆史(訳) (1975) :『地域交通論』, 大明堂

2) person-to-person の接触のために、ある人が他の人の住居を訪問するような場合でも、施設をより広義に解釈すればこの定義に含めることができる。

ことはすなわち、交通手段の集合としてのシステムと施設の集合としてのシステム、あるいはさらに施設利用者（サービス対象）の集合としてのシステムの相互の関係を議論することに他ならない。このような立場に立てば交通手段と施設の双方を含む概念として施設一交通システムを考え、そのシステムを定量的に評価するための基準を与える手法を定式化することが望まれる。

本稿では交通システムと地域との関係を解明しようとする作業の一環として、こうした施設一交通システムの評価手法の定式化に向けたひとつの試みを紹介したいと考える。ここで報告するのは長野県を事例として交通システムの評価を行おうとした一連の研究³⁾において試みられたいくつかの手法である。もとより実験的な手法でありその有効性について十分な実証がなされたものではないが、他の地域・事例に対しても適用しうる部分を多く含んでいると思われ、今後さらに検討を加えていく価値があろうかと考えられる。そのような趣旨で、本稿では特に評価手法の実務的な問題を中心に報告したい。したがって、評価作業の結果そのものには必ずしも十分な吟味が加えられている訳ではなく検討の余地は多々あるが、今回はあくまで手法の開発に主眼を置き、分析結果の意味づけ自体は参考として紹介するのに止める。

II 評価手法の定式化

1 問題の所在

施設一交通システムを評価しようとするうえで大きな障害となるのは、交通という空間現象がそれぞれに空間的性質が大きく異なる要素を同時に含んだものであるという点である。

個々の施設は地域の空間的広がりの中ではひとつひとつの点とみなしうる。空間的性質としては「座標」に象徴されるようにその位置によって定義されるものである。また、複数の施設

3) 信州大学交通体系研究会(1983)：長野県における施設一交通系の最適化に関する研究(1), 未刊行
信州大学交通体系研究会(1984)：長野県における施設一

を考えればそれら相互の位置関係が問題となる。一方、これら施設のサービス対象（人口、世帯、事業所等）は集合的にみれば面的な広がりを持つ存在である。通常の施設利用形態を想定した場合、施設の数に比べてそのサービス対象は圧倒的多数にのぼり個々の対象を識別することはほとんど不可能であるから、その空間的性質は「密度」で象徴されるような面的分布が問題となる。施設とサービス対象の両者を結ぶのが交通手段であるが、これは線としての性質を持つ。もちろん交通手段は一本の線であってはあまり意味はなく、複数の線が組み合わされネットワークを形成することによって始めてその有効性を発揮しうる。したがって交通手段は空間上の有限個の線の集合である「ネットワーク」として定義される⁴⁾。

このように施設一交通システムはそれを構成する要素が、それぞれに異なる空間的性質を備えているために数的取り扱いが難しい。まず、各々の要素を数的に記述するためにはそれぞれ異なった方法が必要となる。点的な要素である施設は座標で、面的な要素であるサービス対象の分布は密度で、線的な要素である交通ネットワークはノードとリンクの集合として表現することができるが、これら三様の記述法相互に整合性が保たれなければこれをひとつのシステムとして取り扱うことは不可能である。このように施設一交通システムを整合的に記述する方法を確立することが第一の問題である。

次に、このようなシステムの記述の結果は単なるスカラー量やベクトル量にならないため、それだけでは評価の議論は困難であり、何がしか適當な測度を定義することによってシステムに評価基準を与えなければならない。この測度としてどのようなものを用いるかという点が第二の問題である。

2 データ形式

上述のようにそれぞれ空間的性質が異なる施

交通系の最適化に関する研究(2), 未刊行

4) このような意味で以下、交通手段の集合を交通ネットワークと呼ぶ。

設一交通システムの諸要素を数的に記述し数値データに変換しなければならない。こうした記述のためにここでは以下のよう、メッシュ・パターンを基本としたデータ形式を用いている。

まずサービス対象の面的な分布は対象地域をメッシュ区画に分割し、各メッシュ内のサービス対象の数で表現する。サービス対象としては人口・世帯・事業所等が考えられるが、これらの実際の統計数値を利用するには総務庁（旧総理府）統計局が作成している地域メッシュ統計⁵⁾を用いるのが現実的であるから、この地域メッシュ統計に用いられているメッシュ区画を準用すればよい。

施設はその位置が数値化されればよいから、上と同じメッシュ区画を用い施設が立地するメッシュの番号によって表現する。複数の施設についてはそれぞれの位置に対応するメッシュ番号の組で表わす。この方法の場合同一メッシュ内にある複数の施設は区別できないから、それらはひとつの施設として取り扱う。

線的なシステムである交通ネットワークはメッシュでは直接表現できないので別の表現法を考えなければならない。交通ネットワークは早く Garrison (1960)⁶⁾によって提唱されたようにグラフ理論にいう「グラフ」として記述することができる。グラフ理論ではネットワーク（グラフ）は点（ノード）および、点と点とを結ぶ線（リンク）の集合として定義される⁷⁾。この定義にしたがって交通ネットワークを複数の適当なノードとそれらを結ぶリンクに分解して表現できる。その際ノードのとり方をメッシュ・パターンに一致させれば、メッシュの表現とネットワークの表現の間に整合性を持たせることができる。具体的には各個のメッシュ区画の中にそれぞれ1個のノードを置き、その番号

5) 総理府統計局 (1976) :『地域メッシュ統計の解説』

6) Garrison, W. L. (1960) : Connectivity of the Interstate Highway System, *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, 6, 121-137

7) グラフ理論では通例、点を頂上 (*vertex*)、節点 (*point*)、線を枝 (*branch*)、辺 (*edge*)、弧 (*arc*) 等と呼ぶが（伊理・古林, 1976）、ここでは交通工学等でよく用いられる

とメッシュ番号を一致させる。このノード番号を用いてノードとノードを結ぶ交通手段（道路・鉄道等）をリンクとして表わす。この場合リンクの長さが問題であるから、地図等からその長さを測定しその値によってリンク長を数値化する。

実際の作業としては道路や鉄道の路線がメッシュ区画を次々に横切っていくにしたがってそれぞれの区画の中の適当な場所にノードを次々にとっていく。次にそれぞれのノード間の長さを測りリンク長を決定する。最後に各々のリンクに対して両端のノードの番号とリンク長をリストすることによって路線を数値化できる。以上の作業を路線毎にくり返して交通ネットワーク全体を数値データに変換する。もちろんその際、路線毎にとるノードは同一メッシュ区画については同一のものとしなければネットワークが連続しなくなる。

3 評価の測度

上述の手続きを経て施設一交通システムが数的に記述されたとしても、それだけではシステムを評価する手立てが得られた訳ではない。記述された結果は単なる数値のリストにすぎず、そこからシステムの性質を読み取ることは困難であるから、何がしかの評価の測度を導入し、理解し易い形のものに変換することが必要である。

従来、交通システムをネットワーク理論を応用して分析する方法が知られている。Taaffe and Gauthier (1973)⁸⁾ は Garrison (1960) の先駆的な研究を拡張し、ネットワークをトポロジカルに扱いその連結性の測度として α 係数および γ 係数⁹⁾ を用い、交通ネットワークの発達過程を論じている。交通ネットワークの連結性はネットワークの網目がどの程度密なものであ

ノード (*node*) とリンク (*link*) の語を用いておく。

伊理正夫・古林隆 (1976) :『ネットワーク理論』日科技連

8) Taaffe, E. J. and H. L. Gauthier, Jr. (1973) : *op. cit.*

9) Taaffe and Gauthier (1973) では γ 係数を平面グラフの理論値に基づいて求めているが Garrison (1960) では非平面グラフの理論値に基づいている。

Garrison, W. L. (1960) : *op. cit.*

るかを示しているから、交通システムの長期的な発達の諸段階や、開発の度合いが著しく異なった地域の交通システム等を総体的に比較しようとする場合に有効である。しかし、日本のように既に相当に密な交通ネットワークが形成されている地域では新たな交通手段の整備によってもネットワーク全体の密度が大きく変化する訳ではないので、システムの変化は連結性の測度に敏感に反映されることなく、比較的短い期間を対象とする分析にはこうした連結性の測度はあまり有効ではないと思われる。

Taaffe and Gauthier (1973) はこうした問題に関連して、Garrison (1960) によって提案されたアクセシビリティー指標¹⁰⁾を有値グラフに拡張することによってトポロジカルではない通常の意味での距離の概念を含んだネットワークの評価法を提案している。彼らが用いたアクセシビリティー指標はあるノードから他の全てのノードに到る最短経路の距離（トポロジカルでない）の合計であり、ある地点が他地点に比べどの程度交通の条件に恵まれ、あるいは恵まれていないかを示す。このアクセシビリティー指標は地域内での交通条件を相対的に比較するのに便利であり、たとえば藤目（1983）¹¹⁾では中四国地域の交通変革に伴う交通条件の変化の検討に用いられている¹²⁾。

この種のアクセシビリティー指標は特に時間距離ないしは費用距離を用いた場合、交通システムの比較的小さな変化、たとえば路線の小規模な新設、路線整備によるスピードアップ等にも敏感に反応するので、交通システムの変化の影響を検討する手段としては都合が良い。しかし、この指標は対象地域内の各地点毎に求まるものであるので、地点間の交通条件の相互比較には便利であるが、交通システム全体をひとつ

の測度によって評価しようとする目的には適さない。この問題に対するひとつの解答は地点毎の指標をすべて合算しひとつの値にまとめてしまう方法であるが、本来空間上の分布として与えられているものを無批判にひとつのスカラーレイに押し込んでしまうこうした合算値が交通システムを評価する測度として現実的にどのような意味を持つかということは甚だ曖昧であるといわざるをえないであろう。

このように交通システムの評価に用いようとする測度の意味が現実的な立場からみて曖昧になるのは、これらの測度が交通システムの交通需要者から切り離し、単なる交通手段の集合として把えようとするアプローチから生まれたものであるためと考えれる。交通システムを交通需要者から切り離して考えれば、その議論の中では現実的活動としての交通の意味あるいはその性質は考慮されないから、そこで用いられる測度が現実的意味の希薄なものになるのは当然である。

本稿の最初に論じたように、交通を利用者が施設を利用するための空間的移動と把える立場からすれば、施設一交通システムの概念に基づいてより現実的意味の明確な測定を考えることができる。

最も単純かつ明解な測度は地域内のサービス対象が施設を利用するため必要な総移動量である。この値は施設利用のためのサービス対象あたりの平均アクセス距離と同じ意味を持つが¹³⁾、この値が小さくなればなる程地域全体として交通条件が改善されたことになることはいうまでもない。また、このような平均化された測度ではなく、地点間での交通条件の差を検討しようとする場合には、地点毎に施設利用に必要なアクセス距離を求めそれを比較すればよい。

費用の積で定義し、ある地点から地域内のすべての地点への輸送費用の合計値を用いて、地域内での製造業の立地条件の差異を議論している。

Törnqvist, G. (1962) : *Transport Cost as a Location Factor for Manufacturing Industry, Lund Studies in Geography*, B, 23

13) 総移動量を全サービス対象数で割ったものが、平均アクセス距離である。

10) あるノードから他のノードに到る最短経路に含まれるリンクの数をトポロジカルな距離という。あるひとつのノードから他のすべてのノードへのトポロジカルな距離を合計したものがアクセシビリティー指標である。

11) 藤目節夫 (1983) : 中四国地域の交通条件の相対評価に関する研究、地理学評論, 56, 754-768

12) ほぼ同様なアイデアに基づいて Törnqvist (1962) は原材料と最終製品を輸送する費用を距離と単位あたり輸送

ところで、この地点毎のアクセス距離の指標は形式的には前述の Taaffe らのアクセシビリティ指標と類似している。両者の相異は前者が特定具体的な施設へのアクセスを考えるのに対し、後者ではアクセス先を特定せず地域全体としている点である。したがって後者は施設がすべての地点に均等に分布していると考えて求めた場合の前者と同じ指標であることになる。上述のようにこうした意味で Taaffe らのアクセシビリティ指標は現実の交通需要の条件を無視している訳であり、ここで提案する指標は現実の交通需要の分布の条件をできるだけ評価に組み込もうとするものである¹⁴⁾。

以上のように、本稿では施設一交通システムの評価の測度としてサービス対象が施設を利用するためのアクセス距離を基本とした指標を用いる。こうした測度の設定に基づいて測定された地域の交通条件を、アクセス距離を基本として測定された条件という意味でアクセス条件と呼ぶことにする。

III 道路ネットワークの評価

1 評価の前提

以上の議論を踏まえて、実際の地域を対象にし、施設一交通システムの評価作業を試みる。対象地域として長野県をとり、特に道路ネットワークを中心とした施設一交通システムを分析の対象とする。

長野県の高速道路、一般国道、主要地方道を合わせた道路ネットワークの概況を第1図に示す。このうち高速道路は1960年代後半から整備が始まり、1981年には東京から諏訪市・飯田市を経由して愛知県小牧市に到る中央自動車道西宮線が全線開通している。さらに同線から岡谷ジャンクションで分岐し、長野市を経て須坂市に到る中央道長野線の建設が開始されている。

14) 奥平(1982)はある地点から一定時間内に到達しうる範囲内に住む人口の大きさによって道路ネットワークを評価する方法を提案している。これは本稿の議論における施設を人口にまで拡張した場合に等しい。

奥平耕造(1982)：メッシュデータによる地域分析、『都市・地域解析の方法』、東京大学出版会、151-280

また群馬県藤岡市で関越自動車道新潟線から分岐し、佐久市・長野市を経て新潟県上越市へ到る関越道上越線の計画もある¹⁵⁾。対象地域ではこのように高速道路を軸とした道路ネットワーク整備が計画されているので、この整備のシナリオに対応して道路ネットワークのアクセス条件がどのように変化していくのかをシミュレーションにより検討してみたい。

上のシミュレーション作業のための操作的な前提として、道路ネットワーク整備のシナリオを次の4段階に分ける。

- I 高速道路建設以前の一般道路のみの段階
- II 中央自動車道西宮線開通後の段階
- III 中央自動車道長野線開通後の段階
- IV 関越自動車道上越線開通後の段階

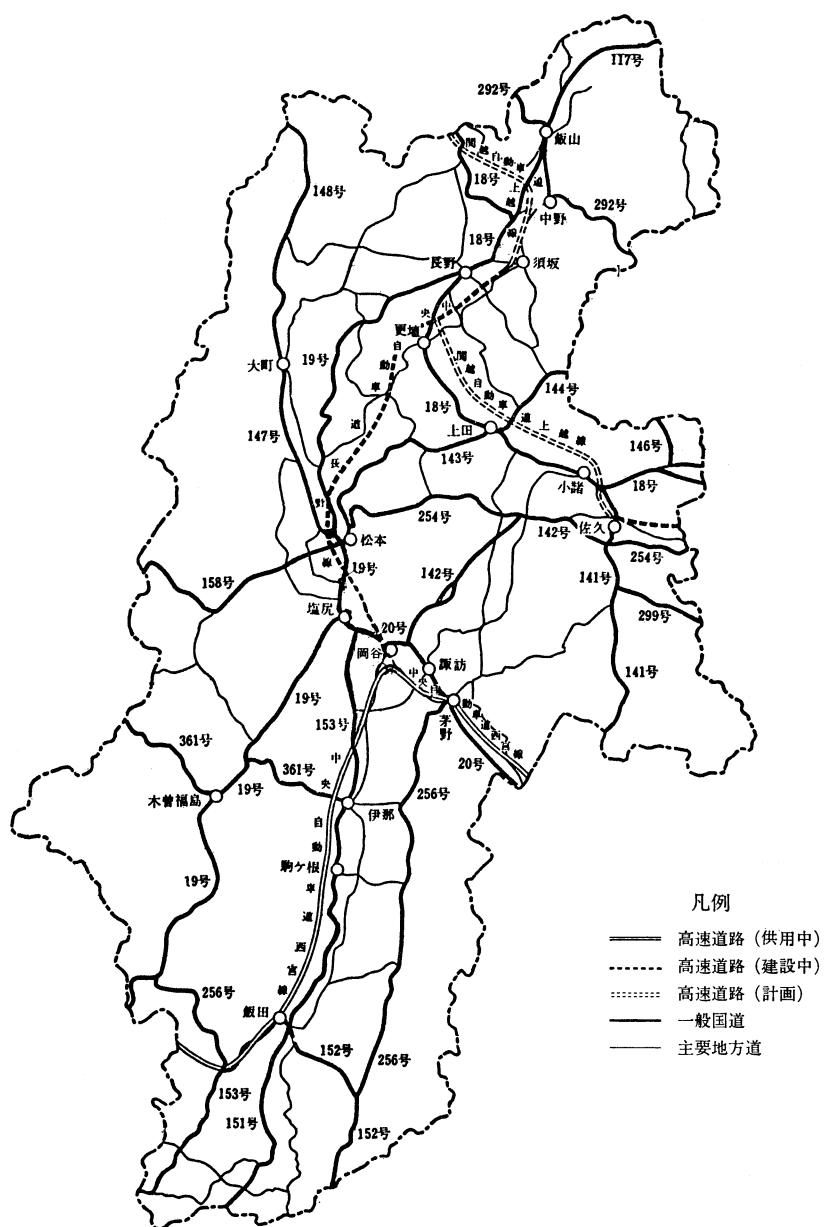
この各々の道路ネットワーク整備段階でのアクセス条件を、すでに検討したような測度を用いで指標化する。整備の各段階を通じてこれらの指標がどう推移するのかを分析することによって道路ネットワーク整備の効果を評価することができる。

シミュレーション作業にあたって操作的に決定しておかなければならないことがある。それはアクセスの対象となる施設をどうとするかという問題である。現実の地域には種々さまざまな施設があり、これらすべてを対象とするのは不可能である。特定具体的な施設のためのアクセス条件を求めようとする場合は当該施設の実際の配置を用いればよい訳であるが、ここではもう少し一般的な形でのアクセス条件を考えたい。

この問題に対するひとつの解答は、一定規模以上の都市をひとつの施設とみなし、それに対するアクセス条件を求める方法である。都市にはさまざまな社会・経済的諸機能が集積しており、特に、ある程度以上の規模を持つ都市への集積は著しく、都市外の地域に比べて交通ア

15) 藤岡市～上越市の全区間のうち、藤岡市～佐久市および須坂市～中野市の2区間にについては整備計画、残りの区間にについては基本計画が国土開発幹線自動車道建設審議会で計画決定されている。

長野県(1983)：『長野県の高速道路』



第1図 長野県の道路ネットワーク

セスの需要は圧倒的に大きい。空間的な視点からみれば都市はほぼひとつの点とみなすことができ、これを擬似的にひとつの施設と考えてもよいから、一定規模以上の都市に対するアクセス条件をもって交通システムの評価を行うことは是認されるであろう。

もちろん、この方法でも具体的にどの都市を選ぶかという問題は残る。この問題についてはさらに十分な検討を加える余地があろうが、ここではとりあえず、域内交通のアクセス対象として県庁所在都市である長野市を、域外交通のアクセス対象として東京圏をとりあげている。

すでに多くの議論がなされているように、地方都市の中での県庁所在都市の比較優位性は著しく、官庁・民間を問わずいわゆる中枢管理機能が他都市に比べ圧倒的に集中しており、さらにそれに付随して立地するさまざまなサービス機能の集積も大きい。これらが相俟って県庁所在都市に対する交通アクセス需要の大きさは他都市とは格段の差があると考えられることが前者の理由である。

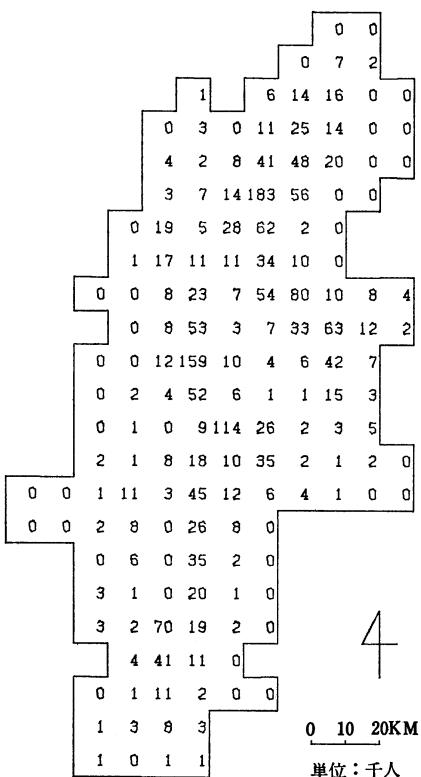
後者については、社会・経済的諸活動が広域化するのに伴って大都市への機能的結びつきが強まり、それに対応して地方から大都市圏への交通アクセス需要も急増しており、地方地域間の交通アクセス需要に比べて著しく大きなものになっていると考えられるからである。長野県の実情に照らしてみれば、名古屋圏へのアクセスも考慮すべきであると思われる地域も一部にはあるが、社会・経済的中枢としての東京圏の圧倒的な重要性に鑑みて東京圏に対するアクセスのみをとりあげた。

上のような考え方沿って、サービス対象として域内交通の場合には人口、域外交通の場合には事業所をとった。域外交通の場合は特に、経済的活動が交通アクセス需要の中心を占めると考えられ、域内交通の場合にはより幅広い諸活動を含めて交通アクセス需要を考えた方がよいと思われるからである。

2 データ

さて、以下の評価作業の対象地域は長野県であるが、この対象地域の空間的な大きさを考慮したうえで実務的に可能なメッシュ区画を定めねばならない。前述の地域メッシュ統計で基準となるメッシュ区画は第3次地域区画であるが、これは約 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ の区画となる。この区画を用いると長野県は約1万4千個のメッシュ区画に分割されることになるが、後の作業を考え

16) データ量の点で特に問題になるのは後述の最短距離行列である。メッシュ区画数を n とすると行列の要素数は n^2 の大きさとなり、メッシュ区画数が増加すると行列要素数は急激に増大する。5倍地域メッシュの場合、区画数は約600個、最短距離行列の要素は約36万個であり、この行列1個について必要な記憶容量は約 1.4 MByte、計算にはこの数倍の容量が必要となる。今日の大型計算機では

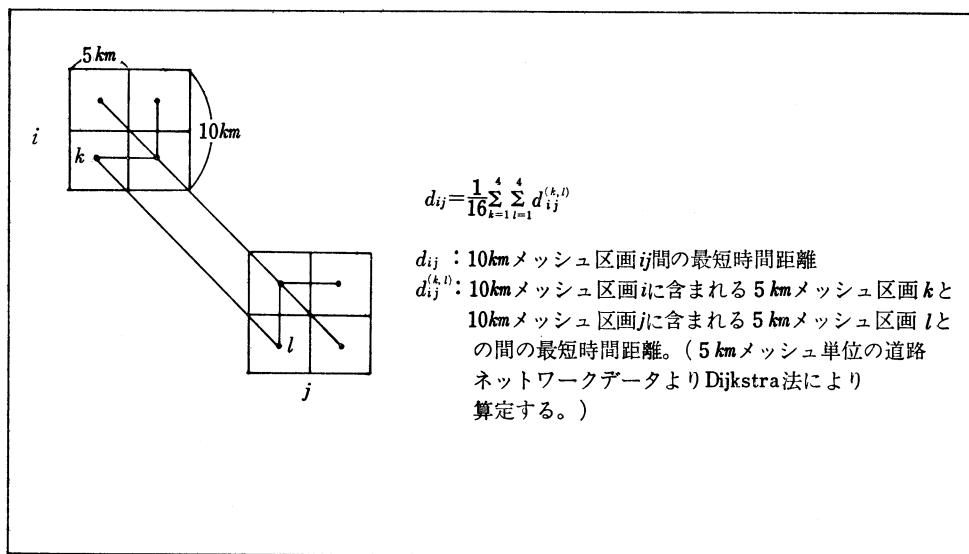


第2図 メッシュ区画と人口分布

るとこれではデータ量が大きすぎ処理が困難である。実用的なメッシュ区画としては第3次地域区画を縦横5倍した5倍地域メッシュないしは10倍した10倍地域メッシュ(第2次地域区画)が考えられるが、ここではデータの扱い易さ、および計算の際のデータ量の点から約 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ の第2次地域区画を用いた¹⁶⁾。この場合、対象地域は160個のメッシュ区画で表現される。

ところで、上述のように 10 km メッシュ区画を基準とすると道路ネットワークも 10 km 単位の粗いデータとして記述されることになる。しかし、山地によって交通ネットワークが分断されているのが特徴である長野県のような場合、

この程度の計算は不可能であるという訳ではないが、やはり実用性の面では疑問が残る。これが10倍地域メッシュ(第2次地域区画)の場合では行列要素数約2万5千個となり、取り扱いは一挙に容易になる。ただし、この問題はプログラム上の工夫によって解決することが可能であると思われ、なお改良の余地がある。



第3図 最短時間距離行列の推定

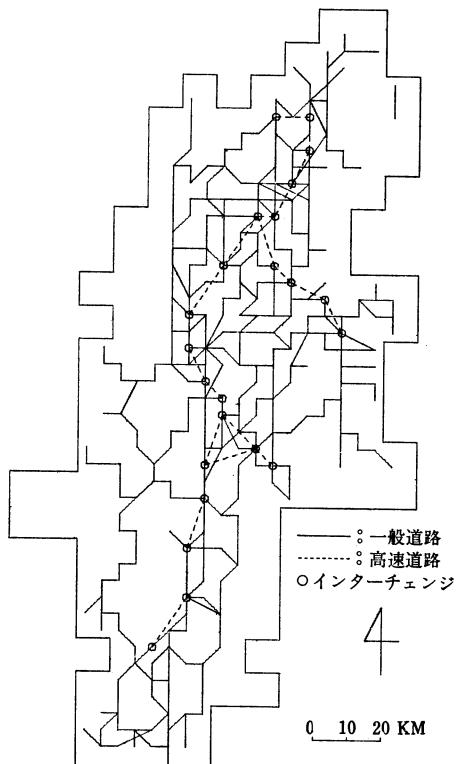
交通ネットワークを粗く記述したのではそのような特徴が失われてしまう恐れがある。そこでこのような事態を多少なりとも回避するために道路ネットワークを記述するデータは 5km メッシュ区画（5倍地域メッシュ）を用いて数値化することにする¹⁷⁾。

もちろんこの場合、そのままではサービス対象の分布のデータと道路ネットワークのデータの間には整合性がない。そこで次のような手続によって両者を整合させる。

後述の最短時間距離行列を求める段階で、まず各々の 5km メッシュ区画間の最短時間距離を求める。次に 10km メッシュ区画間の最短時間距離を当該 10km メッシュ区画に含まれる 5km メッシュ区画間の最短時間距離を平均して求める。1 個の 10km メッシュ区画には 4 個の 5km メッシュ区画が含まれるので $4 \times 4 = 16$ 通りの最短時間距離を平均することになる（第 3 図）。

こうして 5km メッシュ区画を用い長野県の道路ネットワークを数値化した。対象とする道路は旧一級国道 3 路線、旧二級国道 19 路線、主要地方道 58 路線および、既存あるいは計画中の

17) より細かいメッシュ区画を用いればさらに精度はよくなるが、数値化に必要な労力は急激に大きくなる。現実問



第4図 データ化された道路ネットワーク

題として、地図上からの拾い出し作業を人手に頼る方法ではこの程度が限界であろう。

高速道路3路線とし、前述の道路ネットワークの各整備段階に対応して4種類のネットワークデータを作成した。

なお、対象となるメッシュ区画の中には上記のネットワークに接続しないものがある。こうした区画でも現実にはより細い道路によってネットワークに接続していると考えられるので、仮のリンク（ダミー・リンク）がネットワーク上で最も近いノードに接続しているものとみなすことにする。この場合のダミー・リンクの長さはメッシュ区画間の直線距離を用いる。この結果、すべてのメッシュ区画がネットワークに接続される。

以上の作業によってデータ化されたネットワークの総リンク数は約830、内390リンクは追加されたダミー・リンクである。

3 アクセス条件の推定

上述の作業で作られたデータを用いて各種アクセス条件の推定を行う。アクセス条件を表わす各種の指標を求める作業は大きく、①最短時間距離行列の計算のステップと、②メッシュ区画間毎のアクセス時間距離を集計して指標化するステップの2つに分けられる。

第1のステップでは道路ネットワーク・データを用いて各メッシュ区画間の最短時間距離を求め、それを最短時間距離行列の形に整理する。高速道路建設を軸とする道路ネットワーク整備の効果の評価という作業の目的に照らして、アクセス条件は時間距離を基礎として評価されることが望しいことはいうまでもない。すでに道路ネットワーク・データ上に各ノード間の空間距離は与えられており、高速道路、旧一級国道、旧二級国道、主要地方道といった種別もわかっ

ているので適当な平均速度を仮定して、これを距離に乘じれば時間距離が算定される。任意の2地点間（2メッシュ区画間）の時間距離は両者を結ぶネットワーク上のリンクを次々に接続した一連の経路に含まれるリンクの時間距離の合計で与えられるが、これは当然経路のとり方によって異なる値となる。もちろん、ここでは最短経路による時間距離（最短時間距離）が問題となるので、最短経路を推定することがこのステップの作業の中心となる。

ネットワーク上の最短経路を求める問題はネットワーク理論において最短経路問題として定式化されており、それに対する解法もいくつか知られているが、ここでは、最短経路を求める方法としてDijkstra法を用いている。Dijkstra法はすべてのリンクの距離が負でないネットワークの最短経路を求める場合に最も計算量が少なくてすむ方法と言わっている¹⁸⁾。Dijkstra法についてはネットワーク理論の文献に多く紹介されている¹⁹⁾ので、ここでは詳細は省略し基本的なアルゴリズムのみを述べておく。

Dijkstra法のアルゴリズムは以下の手順をくり返し行うことによって最短経路を求める。

① 最短経路を求める始点となるノードの番号を s 、それ以外の任意のノードの番号を j とする。ノード s からノード j までの距離²⁰⁾を l_j とする。ノード i とノード j の間にリンクがある場合そのリンクの長さを d_{ij} とする。

① 初期値を次のように定める。

$$l_s = 0, \quad l_j = \infty \quad (j \neq s), \quad i = s$$

このときノードの集合Mを考え、Mの初期状態としてすべてのノードからノード s の

えられる。

19) たとえば

伊理正夫・古林隆（1976）：前掲
Busacker, R. G. and T. L. Saaty (1965) : *Finite Graphs and Networks*, McGraw-Hill, 矢野健太郎・伊理正夫（訳）(1970)：『グラフ理論とネットワーク』, 培風館

なお、後者ではDijkstra法の名称は使っていない。

20) 本稿の作業の場合は距離は時間距離である。リンクの長さも同様。

18) 最短経路問題の解法としては他に、べき乗法や Warshall-Floyd 法等が知られている。（伊理・古林、1976、前掲）。前述の Taaffe and Gauthier (1973) や藤目 (1983) ではべき乗法によって最短経路を求めている。べき乗法は負の距離が含まれても最短経路を求めるという利点がある反面、Dijkstra 法が全最短経路を求めるのにノード数の3乗のオーダーの計算量を必要とし、ノード数が多くなると必要な計算量が急激に増加するという欠点がある。ここで考えているネットワークに負の距離が含まれないことは自明であるから、Dijkstra 法の方がより適切であると考

みを除いた集合とする。

$$M = \{j; j \neq s\}$$

② Mの要素である任意のノード $j (j \in M)$

に対して

$$l_j > l_i + d_{ij}$$

ならば

$$l_j = l_i + d_{ij}$$

$$p_j = i$$

とする。ここで p_j は最短経路上での直前のノード番号を示すためのポインターである。この l_j と p_j を一時ラベルと呼ぶ。

③ $\min_{j \in M} l_j = l_{j_0} (j_0 \in M)$

となるノード j_0 を求める。

④ ノード j_0 を集合 M からとり除く。ノード j_0 に関する l_{j_0} , p_{j_0} はこれ以降変化しないので永久ラベルと呼ぶ。

$i = j_0$ とおいて②からくり返す。

⑤ 集合 M からすべてのノードがなくなるまで②～④をくり返し, $M = \emptyset$ となった段階で終了とする。

この段階ですべてのノードに永久ラベルがついていることになり、始点 s から他のすべてのノードへの最短距離が l_{j_0} として求められている。

道路ネットワーク・データに基づきリンク毎にその道路種別に応じた平均速度パラメータを距離に乗じて各リンクの時間距離を求め、さらに上の Dijkstra 法を適用する²¹⁾ ことによって任意のメッシュ区画（ノード）から他のすべてのメッシュ区画への最短時間距離を算定できる。始点となるメッシュ区画を次々と変えていけばすべてのメッシュ区画への最短時間距離が求められることになる。この最短時間距離を、始点のメッシュ区画番号を列に、終点のメッシュ区画番号を行にとったOD行列の形に書くことによって最短時間距離行列が作成される。なお、時間距離の算定に用いた平均時速パラメータは第1表のとおりである。

21) Dijkstra 法では距離を有向な量とみなす。すなわち一般に $d_{ij} \neq d_{ji}$ であり、最短距離も方向があるものとしている。交通ネットワークのリンクの方向性はここでの議論のような場合は考えなくてよいと思われるが、データ化

第1表 平均時速パラメータ

種 別	時 速
旧 1 級 国 道	40 km
旧 2 級 国 道	35
主 要 地 方 道	30
高 速 道 路	70
追 加 リンク	20

アクセス条件推定の第2のステップは上で作成された最短時間距離行列を用いてメッシュ区画毎に施設までのアクセス時間距離を求め、それを集計してアクセス条件の指標とすることである。

道路ネットワーク全体のアクセス条件を示す指標として総移動量ないしは平均アクセス時間を考える。総移動量はメッシュ区画毎に最も近い施設までのアクセス時間距離にサービス対象の数を乗じたものを求め、これをすべてやメッシュ区画について合計して求める。すなわち、総移動量 F は、

$$F = \sum_{i=1}^m p_i l_{i,j}$$

p_i : メッシュ区画 i のサービス対象の数

$l_{i,j}$: メッシュ区画 i , j 間の最短時間距離

j : i から最も近い施設があるメッシュ区画の番号

m : メッシュ区画の数

前述のように今回の分析では域内交通に対して施設を長野市、サービス対象を人口、域外交通に対して施設を東京圏、サービス対象を事業所としているので、この総移動量は前者ではなくすべての人口が長野市へ到達するに必要なアクセス時間の総和、後者ではすべての事業所から東京圏へ到達するに必要なアクセス時間の総和ということになる。

平均アクセス時間は総移動量をサービス対象の数で割ったもので1人あたりの長野市への平均アクセス時間ないしは1事業所あたりの東京

されたリンクと反対向きのリンクを作り、正逆2方向のリンクからなるネットワークとして計算を行っている。したがって実際の Dijkstra 法の計算に用いられたリンク数は $630 \times 2 =$ 約 1260 リンクである。

圏への平均アクセス時間を示す。平均アクセス時間は指標としての実質的な意義は総移動量と同じであるが、より具体的でわかりやすいという利点がある。

次に長野県内のアクセス条件の格差を評価するためにアクセス時間帯別にサービス対象を累積した曲線を求める。この曲線はあるアクセス時間内に施設に到達できるサービス対象の数が全体のどれだけの割合であるかを示すから、この曲線の勾配が緩やかであればある程アクセス条件の格差が大きく、逆に勾配が急であればある程、格差が小さいことになる。さらに、このアクセス時間別累積曲線を単純な数値に直して比較しやすくするため格差指数（後述）を計算することもできる。

4 アクセス条件の変化

以上の手順によって長野県の道路ネットワーク整備に伴うアクセス条件の変化の評価を試みる。

域内交通の全体的なアクセス条件の指標として長野市までの総移動量および人口1人あたりのアクセス時間を各段階ごとに求めた結果が第2表である。

現状である中央道西宮線開通段階（II段階）での総移動量は約244百万人・分で、サービス対象である人口1人あたりの平均アクセス時間は121.7分となる。これは高速道路が建設されていなかった段階（I段階）の平均アクセス時間122.7分より0.8%短縮されたことになる。

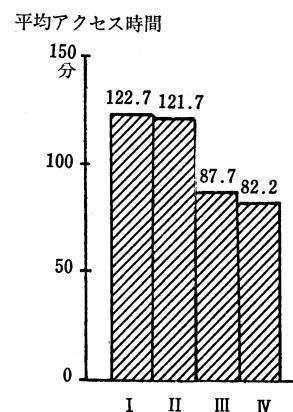
次の段階である中央道長野線開通段階（III段階）では平均アクセス時間は87.7分とII段階より34分、28%短縮される。最後の関越道上越線開通段階（IV段階）では平均アクセス時間82.2分となり、III段階より6%，I段階からみると33%の短縮となる。

各段階を通じた平均アクセス時間の推移（第5図）から明らかなように域内交通の面でのアクセス条件に及ぼす影響は中央道長野線の影響が最も大きい。

よく言われるよう長野県は県域が地勢的に分断されており、特に県庁所在都市である長野

第2表 長野市までの総移動量と平均アクセス時間

段階	総移動量 (百万人・分)	平均アクセス時間 (分)
I	246.3	122.7
II	244.2	121.7
III	175.8	87.7
IV	164.9	82.2

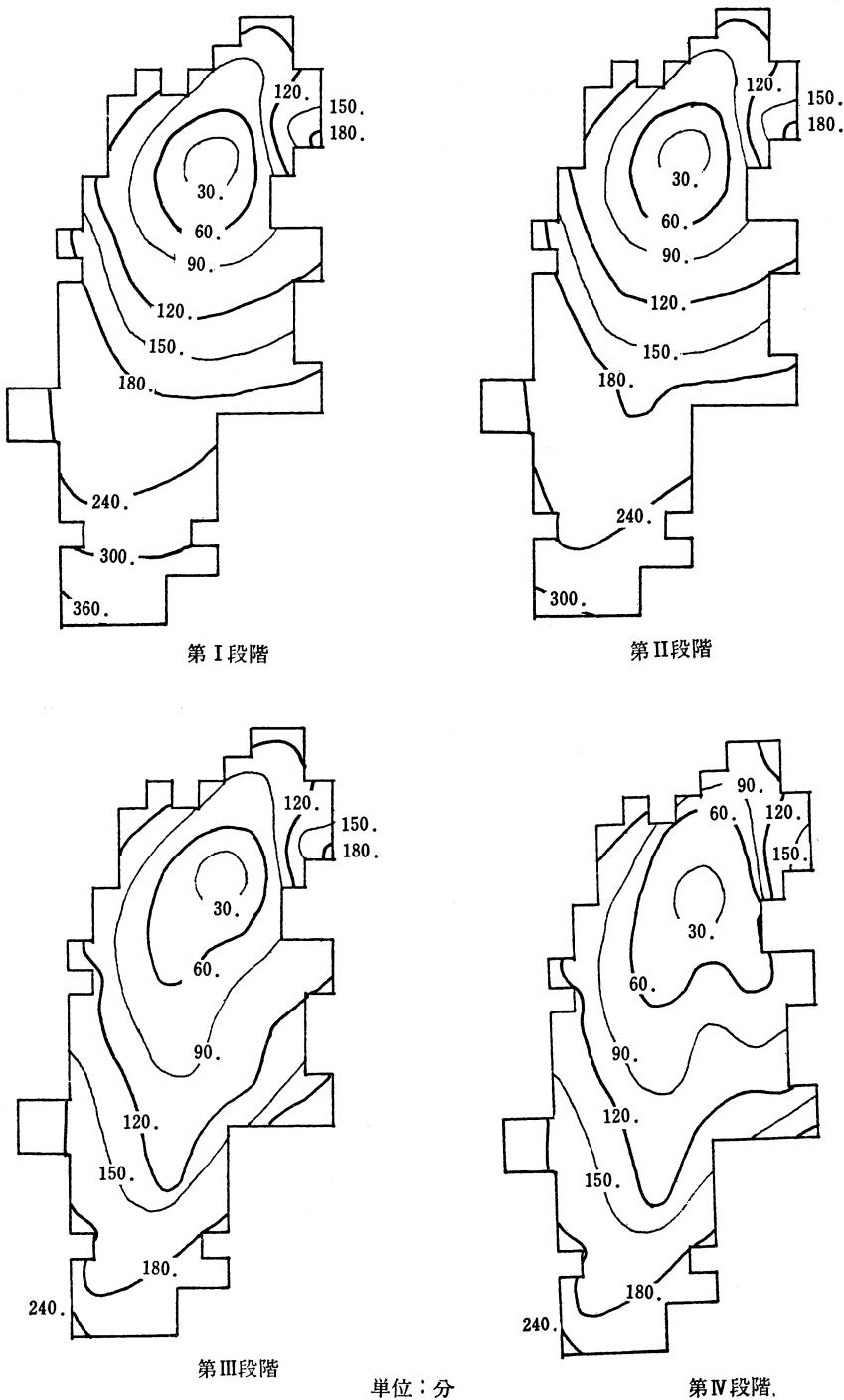


第5図 長野市までの平均アクセス時間の推移

市を含む県北部と県中南部が切り離されていることが大きな問題となっている。これに対して県北部と県中南部を交通ネットワークにより結びつけることが課題とされてきたが、中央道長野線の路線配置はこの問題にうまく対応する形となっているため域内交通のアクセス条件の向上への寄与が大きいと考えられる。

実際、アクセス時間の地域的な分布の推移をみてみると（第6図）、II段階からIII段階にかけて等アクセス時間線が中央道沿いに南に伸びていき、県中南部でアクセス条件が大幅に改善される状況がよく観察される。中央道長野線および西宮線の沿線には松本、諏訪、茅野、伊那、飯田各市のようにかなりの人口集積があり、これらを結ぶ形で高速道路路線が配置されることになるため、交通需要の分布と交通ネットワークがよく適合し効果が大きいのである。

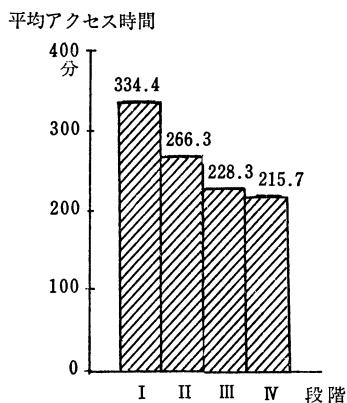
次に域外交通の指標として東京圏へのアクセス条件を調べる。総移動量および平均アクセス



第6図 長野市までのアクセス時間の分布

第3表 東京圏までの総移動量と平均アクセス時間

段階	総移動量（百万事業所・分）	平均アクセス時間（分）
I	39.66	334.4
II	31.58	266.3
III	27.07	228.3
IV	25.58	215.7



第7図 東京圏までの平均アクセス時間の推移

時間の推移は第3表のとおりである。

現状（II段階）での総移動量は3,158万事業所・分で、平均アクセス時間にして266.3分である。これはI段階の334.4分に比べて20%の短縮となっている。これがIII段階²²⁾では平均アクセス時間228.3分で前段階より14%短縮、IV段階では215.7分でIII段階より5%強の短縮となり、最終的には高速道路なしのI段階に比べて35%平均アクセス時間が短くなる（第7図）。

整備段階を通じてみると、やはり最初の高速道路である中央道西宮線の寄与が大きい。第8図のアクセス時間分布の推移からわかるように、この中央道西宮線の建設によって、それまで著しく恵まれなかつた県中南部のアクセス条件が一気に改善されたためで、この段階では県北部に比べて県中南部の条件の方がむしろ良くなっ

22) 域外交通の場合、このIII段階で関越道上越線、藤岡市—佐久間が開通していることが考えられるので、この区间も含めてアクセス条件を推定している。

ている。

次のIII段階でアクセス条件がさらに向上するが、この場合は中央道長野線によって中央道の影響が及ぶ範囲が広がることと、新たに関越道経由の高速道路ルートが長野県内に到達することの2つの効果の結果である。

5 アクセス条件の格差

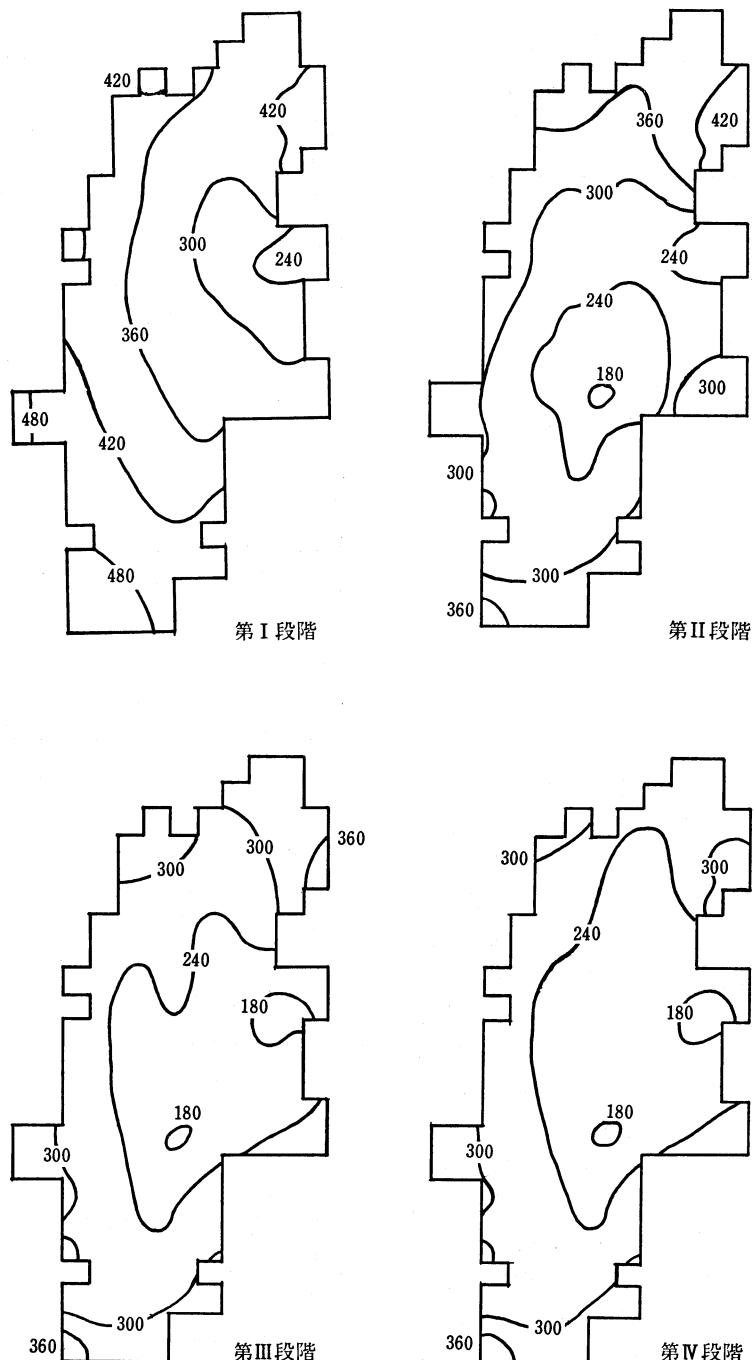
アクセス条件は当然のことながら対象地域内の地点間で大きく異なる。こうしたアクセス条件の格差を評価するためにアクセス時間別累積曲線を描いてみる。

第9図は域内交通として長野市へのアクセス時間別人口累積曲線を描いたものである。曲線は道路ネットワーク整備が進むにつれて勾配が急になり、アクセス条件の格差が縮小されいく状態がよくわかる。特にII段階とIII段階の差は大きく、この間の中央道長野線の建設が格差縮小に大きく寄与していることが読みとれる。I段階、II段階の差およびIII段階とIV段階の差はそれほど大きくないが、前者ではアクセス時間150分以上の条件の悪い地点に対する改善効果が大きいのに対し、後者ではアクセス時間120分以下の条件の比較的よい地点に対する効果がみられることが特徴である。

一方、域外交通として東京圏へのアクセス時間別事業所数累積曲線を描いたのが第10図である。この場合は整備段階が進んでも曲線の勾配が大きく変化せず、曲線がほぼ平行に左方へ移動していく形になる。第9図と第10図の比較から明らかなように、アクセス条件格差の点からいえば高速道路整備は域外交通の面よりは域内交通の面での格差を縮小する効果が大きいといえよう。

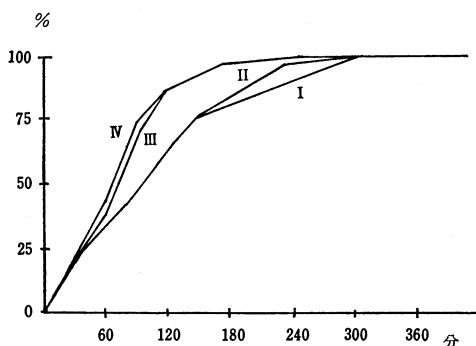
さて、アクセス条件の格差が大きく変化する域内交通の場合において、その変化を定量的に把握するために次のような格差指標を算出してみる。

まずアクセス時間別人口累積曲線上で、アクセス条件が良い方から上位25%の点をとり、その点でのアクセス時間を求める。同様に上位50%，逆に条件の良くない方から下位25%，さら

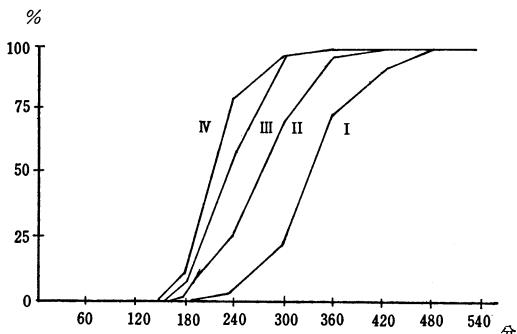


第8図 東京圏までのアクセス時間の分布

総人口に対する百分率

第9図 平均アクセス時間別人口累積曲線
(対長野市)

全事業所数に対する百分率

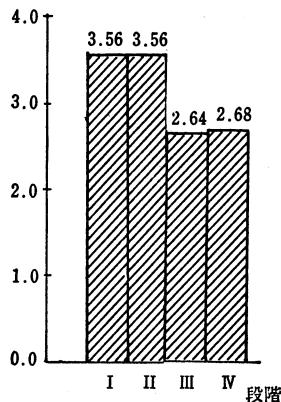
第10図 平均アクセス時間別事業所数累積
曲線(対東京圏)

第4表 長野市へのアクセス条件の格差

段階	累積人口別アクセス時間 (分)				格差指指数			
	①上位25%	②50%	③下位25%	④下位5%	I (③/①)	II (②/①)	III (③/②)	IV (④/②)
I	41.1	96.0	146.2	275.9	3.56	2.34	1.52	2.87
II	41.1	96.0	146.2	229.2	3.56	2.34	1.52	2.39
III	38.2	71.5	100.9	167.4	2.64	1.87	1.41	2.34
IV	34.2	65.4	91.7	166.4	2.68	1.91	1.40	2.54

格差指指数 I

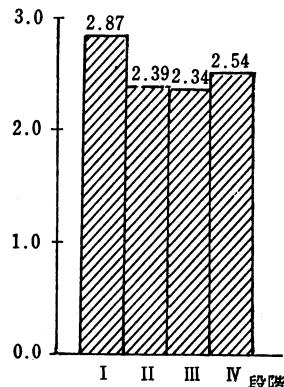
$$= \frac{\text{下位25\%のアクセス時間}}{\text{上位25\%のアクセス時間}}$$



第11図 格差指指数 I の推移

格差指指数 VI

$$= \frac{\text{下位5\%のアクセス時間}}{\text{50\%のアクセス時間}}$$



第12図 格差指指数 IV の推移

に下位5%の点をとてそれぞれの点でのアクセス時間を求める。このようにして求めたアクセス条件が比較的良いグループのアクセス時間と条件の劣るグループのそれとの比をとて格

差指指数とする。

第4表はグループの組み合わせをいくつか変えて求めた格差指指数である。上位25%と下位25%の比をとった格差指指数Iでみると、II段階と

III段階の差が大きく3.56から2.64への格差が大幅に解消されることがわかる。しかし、I段階とII段階およびIII段階とIV段階の間にはほとんど差がない(第11図)。上位25%と上位50%の比をとった格差指数IIおよび上位50%と下位25%の比をとった格差指数IIIでもほぼ同じことが言える。

一方、アクセス条件がより劣る地域の場合を、上位50%と下位5%の比である格差指数IVでみると、I段階とII段階との間での差が大きく、2.87から2.39へ低下している。すなわち、中央道西宮線開通がアクセス条件がそれまで劣っていた地域の条件向上に大きく貢献したために、格差が一気に縮まったのである。その後の段階ではこの格差はあまり縮小されず、IV段階ではむしろ拡大する傾向さえある(第12図)。

6 高速道路整備の効果

以上、長野県の高速道路整備を軸とした道路ネットワーク整備に伴うアクセス条件の変化を分析してきたが、本章のまとめとして長野県において、高速道路整備が交通システムの中でどのような効果を持つかという点について若干コメントしておきたい。

分析結果を総合してみると、中央道長野線の機能が特に注目される。

中央道長野線は全国的な高速道路網という立場からみれば、幹線である中央道西宮線のいわば枝線であり、その意味ではむしろ付属的な路線である。事実、同線沿線上で最も主要な都市である長野市には別系統のルートとして関越道上越線が計画されており、県北部地域と東京圏を結ぶという意味ではむしろこちらの方が本流であろう。

しかし、目を域内交通に転じてみれば、中央道長野線の機能は興味深い。同線の建設によって長野県内の道路ネットワーク全体のアクセス条件は著しく向上し、さらに地域内のアクセス条件の格差も大幅に縮小する。前にも述べたように、これは同線が長野・松本両市という県内二大都市を通り、さらに既設の中央道西宮線を経由して諏訪、茅野、伊那、飯田各市といった

県中南部の諸都市へ接続するという路線配置上の有利さによるもので、県北部の人口稠密地域と県中南部のそれを連絡するという役割をうまく果しうるように計画されている。もとより長野県は南北方向に細長い形状をしており、北部と南部との接続が社会・経済的諸活動を活発にするための大きな課題とされてきたが、こうした課題に対して中央道長野線はひとつの解答を与えていていると言ふことができよう。

高速道路に関してはとかくマクロな立場から長距離の拠点間連絡という機能を中心にして議論され易い。しかし、路線の配置しだいではこのようにむしろ中距離の地域間連絡とでも言うべき役割の意義が大きい場合もあるという点に注意を払う必要があろう。

もちろん、中央道長野線がこのような役割を果しうるのは、それ以前の段階で中央道西宮線の整備が進められているからで、長野線のみでは十分に機能しえないことはいうまでもない。周知のように中央道西宮線はもともと東京一大阪間の幹線ルートとして構想されたものあり、現在の路線となったのは必ずしも域内交通の需要に対応することを意図されたものではないが、結果としては長野線と組み合されたうえで域内交通需要に十分対応できるシステムになっているといえる。また、アクセス条件が特に劣るいわゆる交通過疎地の格差は正については中央道西宮線は大きな効果を上げており、県全域にわたるような大スケールでの道路ネットワーク整備というアプローチではこれ以上格差を縮小することは難かしく、あとはきめ細い道路整備によって少しづつ改善していく他はないという段階にきているといえよう。

関越道上越線の特に現在まだ整備計画が決定されていない区画については、整備段階最後の路線であること也有って、画期的なアクセス条件の向上への寄与は期待できない。同区間が未整備で残された場合はむしろ、高速道路と一般道路がひとつのルートに混在することに伴う一般道路側での容量オーバーフローが問題となろう。

さて、以上ここでコメントはあくまでも施設一交通システムの概念に基づいて、高速道路を道路ネットワークの一要素として評価しようとした議論である。もとより高速道路を始めとする道路整備が地域社会に与えるインパクトは多種さまざまのものがあるから、このような一面的評価だけでは不十分なことはいうまでもない。今後、高速道路整備等についてはさまざまな角度からの検討がつみ重ねられていく必要がある。

以上、本稿では施設一交通システムの評価手法の研究の前半として、交通ネットワークの評価手法を長野県の道路ネットワークの事例を中心に検討したが、次稿では後半として、多少視点を変え、施設の最高配置と交通ネットワークとの関係、およびその応用としての地域区分の問題を中心に議論を進めたい。