特集　システム研究

ターミナル計画とシステム研究の方向

長尾義三

河川・道路・港湾・都市等をつくるときの計画は，これを施設，機能あるいは国土・地域の一部分とみなすかによってその対応も異なる．またこれらの計画を研究しようとするとき，対象となっているものまたはその構成要素の種類・規模およびその配列の合理性を追求する場合と，その追求する過程に科学性を求める場合とがある[1)3)]．後者は計画過程論というべきもので，この土木計画研究の系譜を紹介し，港湾・空港等いわゆるターミナル計画を中心にシステム需要がどのようになされているかを述べてみたい．

1.　土木計画の系譜

過程論としての土木計画はつぎの3つに大別することができよう[1)]．

第1は物理計画法ともいうべきもので，量を問題にする．たとえば過去・現在の現象観察からある時期の交通量，輸送量を予測する．一方，単位施設の容量を求めておき，これを変換機構として所要施設の規模を求めようとするものである．この変換機構は基本容量，計画容量もしくは原単位と称することもある．この原単位はきわめて重要な概念であるが，過去・現在からの経験の所産として，所与として与えられることが普通である．したがって，この計画法では需要予測すなわち計画目標(target)をどのように設定するか，いわゆる枠組作業(frame working)が重要な作業となる．上述のように，質的な問題より物理的な量のみを主たる対象にしており，技術的な計画法ということができよう．

第2は機能計画法ともいうべきものである．ある時期の需要量は与件として，ある種の質の改良を目的とする．輸送・交通問題の場合，輸送費用所要時間の節約等が目的として設定される．効率向上といった意味を含めて，経済的計画法といえる．費用便益分析にもとづいた純便益最大，費用最小というシステムが選好される[2)]．ORの適用が大いに考えられる計画法である．問題把握が部分的または総合的であるかにかかわらずこの計画法の特徴は単一目的型である場合が多い．モデルでは最適化という言葉が用いられるが，社会における当該土木施設の最適化であるかは別問題となる．ある地点に空港が立地し，他の代替案に比べて最良の空港立地条件を満足していても，地域住民の生活条件や自然環境を悪くすることになっているかもしれない．この問題は，ある程度，問題認識の過程で内部化して取りあつかうことができるが[12)]，異質の評価基準を設定しなければならないことになる．

そこで，第3の複合計画法という分野が登場する．前2者が技術的，経済的なのに比較して，自然とか社会全体を問題にする．また前2者が単一目的なのに対して複合(多)目的をもつ．また定常的な問題ばかりでなく非定常の問題をもあつかう．注目する対象について開かれたシステムとして主要な環境への変化項目を選択し，他のシステ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

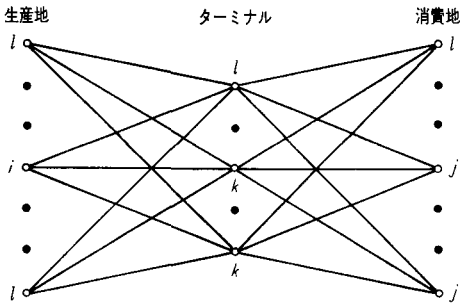

図 1　輸送交通のネット

ムへの影響を予測し，検討する方法や，ＫＪ，ＳＡ，ＳＤの手法のように主として閉じたシステムとして総合的に考察する．理論的には第1，第2，第3の方向へと進んでいるのであるが，土木計画の実用面の大勢は第1の手法で占められている．これがまた，経済的，社会的な観点からの批判を受けていることにもなる．この第2，第3の理論と実際とのすきまをどのように埋めてゆくかが今後のわれわれの最大課題となっている．

2.　ターミナル計画の変遷

輸送・交通問題は生産（発生）と消費（吸収）活動の中間に存する流通活動の一局面としてとらえるかぎり，ターミナル立地も経済立地問題として提起されてきたのは当然のことである．時間を含めた輸送費用の節約は典型的なＬＰモデルとしてしばしば登場する．またターミナル問題は，たとえば工場もしくは，倉庫立地問題としても取り上げられ，整数計画問題として，また路線問題と結合して，混合整数計画問題としても論じられるようになった[4)~7)]．ここで問題になる固定値は，ターミナルの立地と規模に依存するが，ＯＲの進歩は，ここでも精緻な待ち行列モデルを用意してくれる．いろいろな入力条件での窓口設定の問題としてターミナル計画は大きな進歩を果すことになる[8)]．ここでの問題は，輸送・交通の実態にどれだけモデルが整合するかということである．

たとえば，生産地から消費地に到達するまで，いろいろな経路を通る．図1のように輸送・交通のネットで示すこともできるし，1つの路線についていえば図2のように，いくつかのリンクとノードで示すこともできる[11)]．道路とか港湾いわゆるリンクとノードの基本施設の容量，輸送荷役機器の大きさ，台数，速度，運行状態如何によって輸送・荷役の停滞，遊休が生じる．生産供給，消費需要も定常性の保証があるわけではない．

こうして考えると，前述したＯＲモデルは一局面の定常状態を仮定したものであってそのモデルの最適解は，全体システムの最適解はおろか，非定常な経済・社会活動の最適解とはほど遠いものであることがわかる．しかし操作できる変数の組を選び，各リンク・ノードの動態をモデル同定して，シミュレートすることは可能である．

このような大規模システテムの操作は大量の特定品目についての輸送系を設計しようとする場合有用である．われわれも国際海上コンテナ輸送体系について試みたが，内陸輸送系，コンテナ港の立地と規模，ふ頭における荷役施設の種類と規模，コンテナ船団の編成についての情報を得ることができた[9)~11)]．この場合，大規模システムの分解法，分割法を用いることによって，部分部分ではＯＲの手法を導入することによって，計算回数の減少やモデル操作を容易にすることもできる．

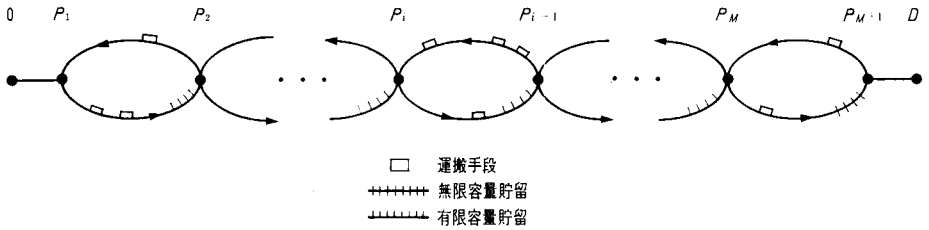

図 2　ノードに貯留施設のある多重リンク輸送システム

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

ここで用いられる評価関数は，遊休となる施設輸送荷役機器の時間計測であり，単位時間あたりの時間費用はその重みとなる．したがって，総費用最小となるようなモデル同定が行なわれることが多い[2)3)]．実際には，どれだけ節約できるかは，需要と供給の質と量にも影響を与えるのであるが，このような動学的もしくは非線型に関する研究は意図されながらまだはじめられていない．

経済が高度化するにつれて，産業も都市も大規模・多様になる．リンクとノードも大規模になると，騒音・振動・大気質・水質・景観にも大きな影響を与えるし，最近の東京湾大阪湾のように，土地利用の最適有効利用のほかに水面の利用のあり方も問題になる．また輸送・交通の技術革新が行なわれると，いわゆる「港なき港」の諺のように，ターミナルからの恩恵より，直接の周辺地域は被害だけが残るといった問題も生じてくる．こうした自然・社会生態系の循環論理を組み入れた計画法は，従来の輸送・交通の目的達成のみからは生まれてこない．対症療法的に補償ですまされる問題ではなくなっている．これは，社会・自然の環境アセスメントを越えて，環境整備計画をも含めた新たなターミナル計画手法の開発が待たれているといえる[12)]．

3. 計画の諸問題

土木計画の系譜を概観し，ターミナル計画を事例に研究の変遷を省みるとき，いくつかの課題が投げかけられていることを知る．第1はシステム構造の問題である．1つの土木施設を中心にその種類と配置と規模とを決定づける要因分析を行ない，システムを設計してもすべての構成要因を網羅しつくすことはできない．とくに，人間・社会の意思からくるソフトの要因をどのように取り込むかは大きな課題となる．輸送問題などでは，慣習的な商習慣や，荷役や輸送上の各社ごとに異なる知恵等をどのように考えればよいか大きな問題となる．われわれが知り得るのは，ある特定日の輸送実態か，年間の合計でしかない．そのようなことを抽象してある仮説を設定しても，モデルはモデルの域を出るものではない．また母体となる認識されたシステムは外側の他の多くのシステムと重合しながら果しなく大きなシステムの一部となっており，他からの影響を受けることが多い．

根気よく，このような基本システムの連鎖として積み重ねてゆくほかに，大局的な大きなシステムから部分としてとらえたらという見方もある．国土総合開発計画，地域計画，都市計画といった地域空間よりする面，あるいは人間・社会活動から次元を設定して，マクロにシステムを構築して，たとえば輸送・交通問題を見ようとするのである．しかし，多くの場合，構造に依存する定性的なことはわかっても，土木施設の種類や規模や配置の見きわめをつけることに役立つほど安定した解を与えてくれることは稀である．後者は産業連関分析や，計量経済の理論やSD等が大きな役割を果している[13)]．このようなマクロの考え方をどのようにミクロの考え方に結びつけてゆくかが，今後の課題となる．

第2の問題は多目的の問題としてシステムを把握することである．コンフリクトのある重要な項目について目的設定をすればよいとわかっていても，相互の独立性等実際にはかなりむずかしい．社会資本形成には，企業の諸問題とは違った問題がそこにある．

第3の問題は動学的な取りあつかいの問題である．計画の目的とか計画の目標とかでさえ，あるシステムの成長過程で変わってゆく．多くの場合計画は，ある時期の断面像を想定し（フレームメーキング）好ましいシステム構造を設計する．しかし，ひとたびそのシステムによって活動をしはじめるとある時期の断面像は違ったものになる．計画とは，そうならないように，入力要素を操作すべきなのかもしれないが，自由資本主義社会では逆で，断面像そのものが予測の誤りであったとする．しかし元来弾力性の大きい，非線型のモデ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

ルをシステムの映像として動学的に同定することは，ほど遠い問題と思えるのである[4]．

第4の問題は第3の問題を不確実性の問題として取りあつかったらどうかというのである．人間の意思の作用としての計画には，いろいろな意味をもつ不確実性が存在する[5]．自然現象の場合，因果関係がわからなければ，現象のあらわれ方の法則を求めて，確率的な取りあつかいが行なわれる．しかし，人間・社会の意思に端を発する問題は，過去・現在に発生した生起現象を統計的に説明し得ても，将来の予測にそのまま使うことはできない．とすれば，過去・現在から知り得た情報で，主観確率をもち，将来つぎつぎに得られる情報で計画が策定されるよう弾力性のある計画手法が採用さるべきだというベイジアン流の考え方も提起されてくる[15]．

第5の問題は，マクロにしろ，ミクロの積上げにしろ精緻なシステムが認識され，そのモデル同定ができても，最後にやはり評価問題が残る．評価しやすいような効用関数はどのようにつくられるべきか．標準くじを用いても専門家でも異なった評価関数が生まれるであろうし，ましてや異なった評価項目の総合評価は今後の大きな課題となってしまう．評価問題と関連して，計画として忘れてはならないのは，分権的達成の問題がある．これは全体システムとして好ましいものでも，部分システムとしては好ましくないことがある．

もちろん，部分システムとして好ましくても，他の部分システムや，全体システムとして好ましくない問題がある．これを調整する方法論の開発である．線形計画や，混合整数計画問題で主問題が記述できるとき，その双対問題として解がみちびかれることはわかっている[7]．しかし，一般の土木計画ではいまのところ補償問題としてしかあつかわれていない．これは計画論の進歩からいえば，きわめて遅れた問題であり，それゆえに，計画が大規模になればなるほど，総合計画，多目的の大規模システムとして問題把握を行ない，開発を進める機構や，制度というソフト面をもあわせて考えてゆく必要に迫られているといえよう．

むすび

港湾・空港等著者があつかっているターミナル計画を素材に，交通土木計画学で関心がもたれているシステム需要の問題点を分析し，あわせて，われわれの行なっている研究の一部を紹介させていただいた．

参考文献

1) 米谷栄二編：土木計画便覧，丸善，昭和51年，pp. 29～31.

2) 長尾義三：港湾投資と費用便益分析，港湾．Vol. 47, No. 5, 1970.

3) 長尾義三：土木計画序論，—公共土木計画論—，共立出版，昭和47年．

4) Baumol, W. J. and Wolfe, P. : A Warehouse-Location Problem, Operations Res., Vol. 6, pp. 252～263, 1958.

5) Efroymson for Plant Location, Operations Res., Vol. 14, No. 3, pp. 361～368.

6) Khamanwals, R. M. : An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Warehome Location Problem, Management Science, Vol. 18, No. 12, pp. 718～731.

7) 長尾義三，森杉寿芳，山田孝嗣：外部不経済を考慮したターミナル立地選定とその分権的達成，土木学会論文報告集第255号，1976, pp. 93～102.

8) Plumlee, C. H. : Optimum Size Seaport, Pro. of ASCE, WWZ Aug, 1966, pp. 448, pp. 1～24.

9) Nagao, Y, & Kanui, M. : A Study on the Method of Port Improvement by Physical Distribution Cost Analysis, XXIInd Inter. Navigation Congress, S 1—1, 1969.

10) Nagao Y., Kinouchi, M., Nishiyama Y. and Okuyama, Y. : Consequence of the Rapid Evaluation of the Marine Container System of the Layout and Operation of Port in Japan, XXIIIrd Inter. Navigation Congress, S 1—6,

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

1973, pp. 97～127.
11) 長尾義三，則武通彦：多重リンク系の輸送動態に関する一考案，土木学会論文報告集 第212号，1973，pp. 71～88.
12) 長尾義三，若井郁次郎，林恒一郎：環境インパクトをもつプロジェクト周辺地域の整備計画手法，土木学会論文報告集 第243号，1975，pp. 61～70.
13) Forrester, J. W.: Urban Dynamics, MIT Press, 1969.
14) 長尾義三，森杉寿芳，吉田哲生：非弾力性需要のもとにおける段階建設について，土木学会論文報告集 第250号，1976，pp. 73～83.
15) 長尾義三：土木計画における不確実性とその評価，土木学会誌，Vol. 55, No. 9, 1970.

ながお・よしみ：1922年生，京都大学工学部教授，交通土木工学教室
専　攻：土木工学，土木計画，港湾工学，ターミナル計画，物流工学
略　歴：1945年，京都帝国大学工学部卒，運輸通信省入省，港湾局計画課，防災課長を経て，1965年，京都大学教授，現在にいたる．

つぎの外国雑誌が当学会にきております．どうぞご利用ください．

- Trabajos de Estadistica y de Investigacion Operativa
- Transportation Science
- Journal of Research of the National Bureau of Standards
- Princeton Engineer
- Мехнцческая Кцбернетика
- Известия АН СССР. Сер. Техническая Кибернетика
- Теория Вероятностей и её прцменения
- Кибернетика
- Arkiv för Matematik

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．