

ネットワーク均衡問題による土地利用の感度分析と 最適計画モデル

京都大学 工学部 正 員 朝倉 康夫

京都大学 工学部 学生員〇梶谷 知志

1. はじめに

需要変動型のネットワーク均衡問題を用いて、土地利用の変化によるネットワークフローの変化を計量化する方法について述べる。さらに、その結果を用いて、交通混雑を考慮した最適土地利用計画問題¹⁾の数値計算を簡略化する方法（線形計画問題への変換）について述べる。

2. ネットワーク均衡問題を用いた土地利用の感度分析

既に開発がある程度進んでいる地域において、特定の区域の特定の経済主体の立地量が増加、あるいは減少した場合、交通ネットワークのフローパターンおよびネットワーク全体のパフォーマンス評価指標の値がどのような影響を受けるのかを知ることは、交通網に整合した土地利用を考察する上で有効な情報となる。ここに、ネットワーク全体のパフォーマンス評価指標とは、たとえば、総走行時間、総走行距離などの指標をいう。

本研究では、土地利用の感度分析を、『ゾーンにおける1単位の立地量の変化がネットワークフローへ及ぼす影響の分析』と定義しておく。もちろん、フローの変化により計画対象地域のネットワーク全体のパフォーマンス評価指標も変化するので、その評価指標への影響分析も感度分析の対象となることは言うまでもない。つまり、土地利用変化の交通への影響分析の中心は、土地利用変化による交通フローおよびネットワーク評価指標の変化率を求めることにある。感度分析に先立ち、ネットワークをフローがどのように流れるかについて設定した仮説は以下の2点である。①フローは現象記述型のフローでなければならない。②土地利用指標とフローは、明示的に関係づけられていなければならない。

これらの条件を満足するものとして、ここでは、需要変動型の均衡問題のうち、分布・配分同時決定問題をフロー記述のために用い、その制約条件の中に土地利用指標を組み入れる。すなわち、土地利用指標により説明される発生・集中交通量を制約条件として持つ均衡問題を考えるのである。土地利用パターンが与えられたとき、この問題は、ODフローとリンクフローに関して一意に解くことができる。そして、これらのフローは、利用者均衡条件を満足するフローである。

感度分析とは、ある土地利用パターンにおいて、 X_{kj} （ゾーンjの活動kの立地量）の1単位の変化によるネットワークフロー、およびネットワーク全体のパフォーマンスの変化率を調べることである。ここでは、数値微分の考え方に従って、変化率を数値的に求めるものとする。 X_{kj} が微小量 ΔX_{kj} だけ増加したとき、フロー（便宜上リンクフローに限定する）およびパフォーマンス指標値の変化率は近似的に、次のように書ける。

Yasuo ASAKURA, Satoshi KAJITANI

$$\partial V_a / \partial X_{kj} = \Delta V_a / \Delta X_{kj} = (V_a(X^*) - V_a(X)) / \Delta X_{kj} \quad (1)$$

$$\partial P_n / \partial X_{kj} = \Delta P_n / \Delta X_{kj} = (P_n(X^*) - P_n(X)) / \Delta X_{kj} \quad (2)$$

ここに、 V_a : リンク a のフロー、 P_n : 第 n 番目のパフォーマンス指標

$$X = \{X_{11}, X_{12}, \dots, X_{kj}, \dots\}, \quad X^* = \{X_{11}, \dots, X_{kj} + \Delta X_{kj}, \dots\}$$

である。これをすべての X_{kj} について計算するのである。数値計算において設定する ΔX_{kj} の大きさは、ネットワークの規模に応じた分布・配分問題の収束判定基準の設定にも関連するが、おおむね $\Delta X_{kj} / X_{kj} = 10\%$ が目安になるものと考えられる。

3. 線形計画問題による最適土地利用計画問題の近似計算法

ネットワーク上におけるトリップメーカーの交通選択行動を考慮した最適土地利用計画問題は、2レベル最適計画問題のフレームを用いて定式化できる。その解法として従来提案された方法では、土地利用の変化に対するネットワークフローの変化を求めるために、逐一ネットワーク均衡問題を解いていたため、アルゴリズムも複雑で計算時間の面でも効率的ではなかった。そこで、均衡問題を解くことなしに均衡フロー、とくにリンクフローを近似的に求めることを考える。最も簡便な方法は、決定変数である土地利用変数とリンクフローとの関係をあらかじめ与えておくことである。これは、土地利用が1単位変化したときのリンクフローの変化率をあらかじめ与えておくことと等価である。最適土地利用計画問題の目的関数についても、同様に土地利用の1単位の変化による変化率をあらかじめ求めておき、それを定数として用いれば、きわめて簡便にもとの問題を書き下すことができる。ただし、この方法は土地利用の増加分の最適化にしか用いることができない。

近似計算のためには、最適土地利用計画問題の下位問題である分布・配分同時決定問題における立地量の感度分析結果を利用する。つまり、感度分析により得られる総走行時間（ネットワーク全体のパフォーマンス指標）の変化率、およびリンクフローの変化率を用いて、総走行時間およびリンクフローを立地変数の一次結合で表すのである。

目的関数を決定変数である立地変数の関数で表すと、

$$\sum \sum (\partial F / \partial X_{kj}) X_{kj} \quad (3)$$

となる。ここに、 F は交通費用と立地費用の和を表す関数である。制約条件は、土地利用に関して、活動のトータルコントロールおよびゾーンにおける立地量制約（線形式）である。さらにリンク交通量の容量制約を立地変数の関数として表すと、

$$\sum \sum (\partial V_a / \partial X_{kj}) X_{kj} \leq C_a \quad (4)$$

となる。ここに、 C_a は、リンク a の交通容量である。

このような操作を加えれば、交通混雑を考慮した最適土地利用計画問題は線形計画問題（LP）に変換できる。このLPを解いたときの最適解を用いて、（4）式に関するシャドウプライスを求めると、それはリンク容量の限界価値を意味している。この値は、土地利用から見たリンク評価値として利用できる。数値計算例については講演時に紹介する。

参考文献 1) 佐佐木・朝倉(1984): 交通量分布-配分を内生化した最適土地利用計画モデル, 都市計画別冊, No. 19, pp.415-420