

ゲーム理論による港湾再開発跡地の 機能立地モデル

黒田 勝彦

(京都大学)

目 次

1. はじめに
2. 港湾再開発の目的と定義
3. 港湾再開発計画のプロセス
4. 協力 n 人ゲームによる土地利用モデルの定式化
5. 簡単なケース・スタディ
6. おわりに

1. はじめに

港湾においては、既存の施設の老朽化、港湾の開発・発展に伴う既存機能の配置の不整合及び環境の悪化、社会・経済条件の変化に伴う既存機能の廃止又は拡大の必要性といった観点から、再開発によって港湾の整備を行おうとする要請が増大している。又、一方では背後都市の土地利用の観点から、都市的土地利用の要請が強まっている。しかし、港湾全体の機能性や効率の面からみて稚々の活動主体の自由競争にまかせて立地させることはできない。すなわち、港湾全体のバランスある機能の発揮と土地利用効率の最大化を同時に考慮にいった土地利用の在り方が問題とされる。特に都市計画法で定めるような細かい立地規制が、臨港地区内に於いて無い現在、「立地活動の自由性を可能な限り保証しつつ、全体としてのバランスを考えて利用計画を立

てる」必要がある。

このような背景を受けて本研究では、

- 1) 各立地機能の効用を可能な限り最大化する方向を認める。
- 2) 立地機能の相互作用効果を考慮する。
- 3) 立地規制の強さをモデルに組み込めるようにする。

といった観点から、港湾の再開発跡地の利用計画をゲームの理論によって考察する。

2. 港湾再開発の目的と定義

港湾再開発は英語では、re-development, re-creation, re-habilitation等の語句が使用されているが、この英語の語意から類推されるように、「元の機能を回復させる」、「再創造する」、「再発展させる」といった内容がある。後に述べるように、港湾再開発の動機や再開発事業に要請される内容は様々であるが、少なくとも、上述した内容が再開発の目的であることは確かであろう。港湾にはもともと、

- 1) 海陸の交通転換としてのターミナル機能と交易機能
- 2) 漁港・工業港のような生産機能
- 3) 避難港のようなハーバー機能

が伝統的な港湾機能であった。しかし、国際情勢や産業構造の変化、人々の価値観の変化、背後都市圏の港湾との結び付き等が次第に変化し、最近では、上記以外に、

- 4) 国際通信機能（テレポート構想）
- 5) 都市的機能
- 6) 文化・リクリエーション機能

等が付加的に要請されるようになってきた。更にまた、港湾を孤立した地区と見るのではなく沿岸域全体の機能と港湾との整合と言った観点からの新しい位置付けが望まれている。

以上の諸情勢を踏まえ、本研究では港湾再開発を以下のように定義する。

「港湾再開発とは、沿岸域の部分としての港湾区域、臨港地区、隣接地域、漁港区において、施設または機能が物理的、経済的、社会的に劣化しているか、または環境悪化あるいは港湾機能全体の不整合等の理由により機能の廃止、転換、更新、または導入を図り、当該地区空間の環境整備とともに総合的高度利用を図ること。」

3. 港湾再開発計画のプロセス

港湾再開発計画の立案プロセスは、金井¹⁾によると図1のようにまとめられる。以下、この過程にそって概要を述べ、本研究の位置付けを明らかにしておく。

3-1 再開発の動機と再開発促進要因

再開発計画の立案に際し先ず重要なことは再開発の要請が如何なる動機で出てきたかを把握しておく事である。これは計画の目的を明らかにする上で

図1 再開発計画のプロセス

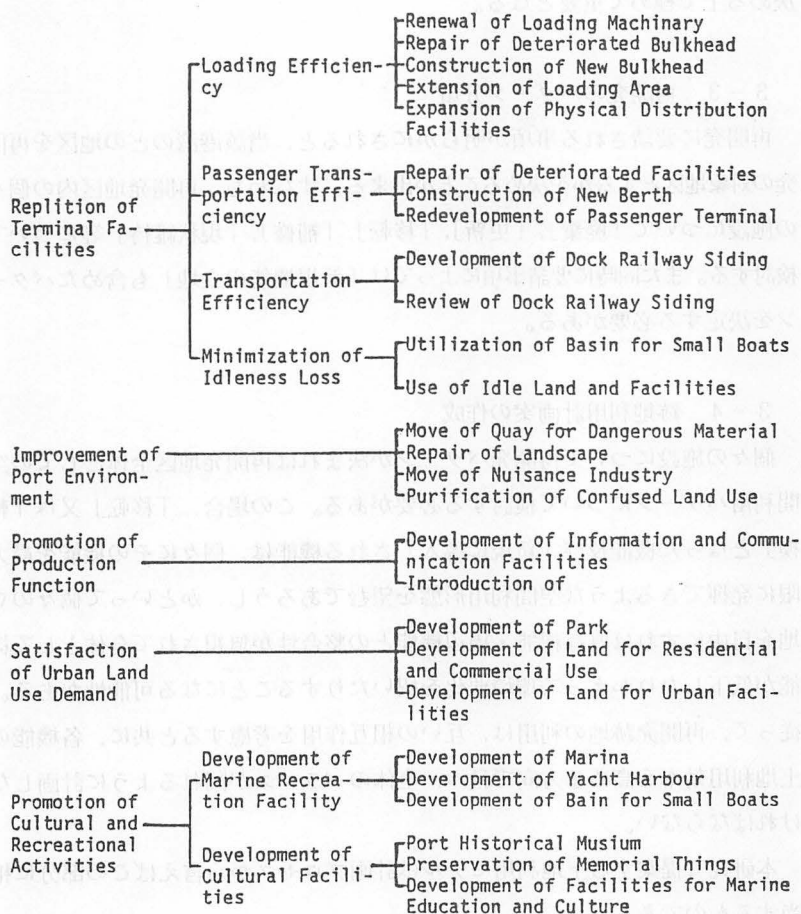


表1 港湾再開発の動機

Motivations for Re-creation			Contents
Inner Factors	Deterioration of Facilities	Variation of value viewpoint of interest groups	Single decisionmaker Multiple decisionmakers Single objective Multi-objectives
		Physical deterioration	Spatial limitation Structural deterioration
		Economical & functional deterioration	Inefficient facilities & devices Unsuitable facilities Increase of maintenance and repair costs
		Environmental deterioration	Danger for human Environmental pollution Land use confusion
		Unbalance between demand & facility capacity	Demand increase Change in packing type and load unit size
Outer Factors	Technological change in transport system	Requirements from interest groups	Transportation sector Industrial sector Other service sector
		General	Information Internationalization Systematization
		Change of transportation technology	Large-sized Specialization Rapid (speed up) Automatization Mechanization
		Urbanization	Demand of urban land use Demand for waterfront
		Utilization of coastal zone and space limitation	Space limitation Total management of coastal zone
		Preservation of coastal environment	Ecology Hinterland environment Urban activities

極めて重要である。長尾・黒田・金井⁽²⁾によると、我が国の港湾再開発の動機は、港湾内部（主として、港湾区域、臨港地区、隣接地域内）から派生するものと、これ以外の外的環境から派生するものとに分類することができる。表1は動機の分類表である。これによると、港湾内部の動機として、①施設の物理的劣化、②荷役機械・施設等の経済的劣化、③港湾内部での機能配置の不整合、④ふ頭用地の狭小さ、⑤臨港地区の環境悪化等が大きな動機として挙げられ、外部的な動機としては、輸送技術革新に伴う、①機能の陳腐化、②荷姿・ユニット規模の変化、③隣接地域の都市化に伴う環境の悪化、④沿岸域の環境保全、⑤住民の親水性空間への欲求、⑥国際化・情報化に伴う新

図2 港湾再開発への要請事項



規機能の導入、⑦産業構造の変化による工場の移転等が大きな動機である。

3-2 再開発の要請事項

先に述べた動機に基づき再開発に具体的に要請される内容を明らかにすることが必要である。これについても長尾・黒田・金井は図2の様に整理している。このような要請事項は当該港湾についてアンケート、インタビュー等

で詳しく調査しておくことが必要であり、次ぎに述べる再開発のパターンを決める上で極めて重要となる。

3-3 再開発のパターン分類

再開発に要請される事項が明らかにされると、当該港湾のどの地区を再開発の対象地区とするかを決めることが出来る。すなわち、再開発地区内の個々の施設について「廃棄」、「更新」、「移転」、「補修」、「現状維持」等について検討する。また同時に要請事項によっては「新規機能の立地」も含めたパターンを決定する必要がある。

3-4 跡地利用計画案の作成

個々の施設について再開発パターンが決まれば再開発地区全体としての空間利用パターンについて検討する必要がある。この場合、「移転」又は「転換」となった機能及び「新規に導入」される機能は、個々にその機能を最大限に発揮できるような空間利用形態を望むであろうし、かといって個々の立地を自由にすれば既存機能・周辺機能との整合性が無視されて全体として機能が低下したりかえって環境悪化を招いたりすることになる可能性がある。従って、再開発跡地の利用は、互いの相互作用を考慮すると共に、各機能の土地利用効率を高める方向で且つ、全体のバランスが図れるように計画しなければならない。

本研究で提案する土地利用モデルは計画プロセスから言えばこの部分に相当するものである。

3-5 再開発計画の実施

計画案が作成された後に重要なことは、権利調整と事業化計画であり、場合によっては、計画の部分的な手直しが必要となるが、これらについては本研究の直後の目的ではないので、ここでは具体的に述べないでおく。

注(1) 金井万造：京都大学博士申請論文（1985）。

- (2) Y. Nagao, K. Kuroda & M. Kanai: Proc. of Coastal Zone 87, Seattle, USA (1987).

4. 協力n人ゲームによる土地利用モデルの定式化

4-1 モデルの位置付け

過去に多くの研究によって提案された土地利用モデルの総括的な分類が青山¹⁾によって図3のようになされている。モデルの分類は他の考え方で分類されている場合もあるが彼の分類が最も良く整理されているのでここではこの分類に従って本モデルの位置付けを行う。

結論的には、図3の分類のいずれの要素も備えているがいずれの分類にも属さない。手法的には朝倉・佐々木モデル²⁾とも言えるが、モデル概念が異なっている。本研究でのモデルは以下の特徴的要素を持っている。即ち、

- 1) 青山・森杉³⁾のいう適地度に基づいている点で空間価値モデルの範疇に入る。
- 2) 他の立地主体からの相互作用効果を考慮しつつ自己の立地行動を決定する点において連立方程式モデルの要素を持つ。
- 3) 再開発パターン分析のステップにおいて再開発の立地序列を部分的に先験的に与えるという意味においてGarin-Lowry型モデル⁴⁾の要素を持つ。
- 4) 予測モデルと同時に規範的な、即ち、協力による全体の最適化をも意図するという点において、最適化モデルの要素をも合わせ持つ。

以上のように、本モデルは従来提案されていたモデルとは共通部分も多いが全く異なるタイプのモデルである。もちろん、モデルの本旨は適地度分析にあるのではなく、配分の考え方のモデル化にある。もとより筆者は、本モデルの実用化を目指している。しかし、ゲームの理論の適用に際しては、各プレイヤーの利得（本研究では単に適地度ポテンシャルで代用している）を如何に定義するかが極めて重要である。朝倉・佐々木モデルでは、その限界を認めつつモデルの考え方を提案しているが、本研究もその点においては同

脚しているとはいえ、ゲームのルールと解法アルゴリズムは全く異なっている。

4-2 モデルの前提

本モデルを構築するに当たり、以下のような前提条件を設定している。

- 1) 第3章で述べたように当該再開発地区では、スクリーニングの過程を通して「現状維持」、「拡張」、「縮小」、「移転」、「廃棄」、「新規機能導入」などが先験的に与えられているものとする。この前提は単に、面積制約とプレイヤーの数を限定するものでモデル化の本質的な前提条件ではない。
- 2) 当該地区の再開発に際しゲームのプレイヤーとして参加できる立地主体は直接立地行動を起こす機能と共にこの再開発によって影響を受ける既存の機能（再開発地区内の不動機能および地区外の既存機能）である。
- 3) 再開発地の利用計画に際しては各機能は、可能な限り自己の効用を最大化しようとして行動する。この前提は、本モデルが行動最適化モデルとしての特徴を持つ由縁である。
- 4) 各プレイヤーの効用は、適地度分析によって与えられた適地ポテンシャル値で表せるものとする。さらに、移転、転換等による効用も適地ポテンシャル値に換算でき、互いのプレイヤーのそれは加算可能で相互に比較できるものとする。この仮定は、先に述べたように非常に本質的な仮定であるが、何等かの方法で相互に客観化できると考えられる。
- 5) ゲームのプレイヤーは、制約なしに自由に提携（Coalition）を組むことができ、提携の効用は、提携を組む各プレイヤーの効用の和で与えられる。提携は n 人のプレイヤーがいる場合、数学的に $2^n - 1$ 個の提携が考えられるが、現実には全ての提携が可能ではない。本モデルでは一つの条件として、用地需要に上限と下限の制約を設け、提携が獲得出来る総面積がこれを満たさない場合は実際的な提携でないとして排除する方法をとる。

- 6) 最適規準は、全ての有効な土地利用代替案について最大の不満を持つ提携の不満を最小化する、即ち、「寛容の仁」の概念⁷⁾によるものとする。
- 7) 提携値、すなわち、ゲームの特性関数は、長尾・黒田・若井⁸⁾による MPR (Majority Power Rule) によるものとする。
- 8) 再開発地区内の各ゾーンは混合利用を許さない。この前提は単にモデルの定式化を簡単にするためだけの仮定であって、考え方の本質を変えるものではない。

4-3 記号の定義

1) プレーヤーとその集合

再開発地に立地可能な機能及び既存機能を $\{1, 2, 3, \dots, k, \dots, n\}$ としその集合を N とする。すなわち、

$$N = \{1, 2, \dots, k, \dots, n\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

2) 再開発地区内ゾーン

再開発地区内を適当な大きさのゾーンに分割し、各ゾーンは番号を付け、ゾーンの集合を M とする。すなわち、

$$M = \{1, 2, \dots, i, \dots, j, \dots, m\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

また、 i ゾーンの面積を A_i 、利用可能なゾーン全体の面積を A とする。すなわち、

$$A = \sum A_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

3) 立地面積需要量と立地制限

立地機能 k の最小および最大面積需要量をそれぞれ B^k および C^k とする。

4) 現状の立地状況

立地機能 k が i ゾーンに現在立地しているか否かを 0, 1 整数 Y_{ki} で示す。すなわち、

$$Y_{ki} = \begin{cases} 1 : k \text{ が } i \text{ ゾーンに現在立地している。} \\ 0 : k \text{ が } i \text{ ゾーンに現在立地していない。} \end{cases}$$

また, i ゾーンにおける k の現在の面積占有率を W^{ki} とする。

$$0 \leq W^{ki} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

5) 立地機能の戦略

立地機能が i ゾーンに立地するか否かは 0, 1 整数 X^{ki} で示す。すなわち,

$$X^{ki} = \begin{cases} 1 : k \text{ が } i \text{ ゾーンに立地する} \\ 0 : k \text{ が } i \text{ ゾーンに立地しない} \end{cases}$$

従って, k の立地戦略は次のベクトルで表すことが出来る。すなわち,

$$X^k = \{X^{k_1}, \dots, X^{k_i}, \dots, X^{k_m}\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

6) 立地ポテンシャル

本モデルでは空間価値を適地度ポテンシャルで表しプレーヤーの効用はこのポテンシャル値によって決まると考える。ゾーン i の機能 k にとってのポテンシャル値を P^{ki} , 機能 k がゾーン i に立地するための用途転換費用は転換ゾーン i に固有の特性によって異なり, 全体の面積に比例するとし比例定数のポテンシャル換算値を C^{ki} とする。また, 移転については, 距離に無関係とし, 機能 k の移転面積に比例すると仮定し比例定数のポテンシャル換算値を C^{Mk} とする。

7) 交互作用効果

i ゾーンに立地する機能 k が j ゾーンに立地する機能 ℓ から受ける交互作用のポテンシャル換算値を $\Delta P^{\ell k} ij$ とし, 次式で与えられるとする。

$$\Delta P^{\ell k} ij = \alpha^{ik} \cdot P^{ki} \cdot \exp(-r_{ij}/H) \quad \dots\dots\dots (6)$$

但し, α^{ik} は交互作用係数, r_{ij} は i ゾーンと j ゾーン間の中心距離, H は交互作用減衰距離である。

4-4 プレーヤーの利得

前項の前提に基づきプレーヤー k が戦略 X^k , プレーヤー ℓ が戦略 X^ℓ を用いた時の k の利得 U^k および現状での k の利得 U_0^k は次式で与えられる。

$$U^k = \sum_i P^{ki} A_i X^{ki} + \lambda^1 \sum_i \sum_j \sum_1 \Delta P^{1k} ij \cdot A_i X^{ki} X^1_j$$

$$+ \lambda^c \sum_i C^{ck} i A_i W_i^1 \cdot Y^1 i X^k i \\ + \lambda^M C^{Mk} \left(\sum_i A_i X^k i - \sum_i A_i W^k i Y^k i \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$U^{k_0} = \sum_i P^k i A_i W^k i Y^k i \\ + \lambda^1 \sum_i \sum_j \sum_l \Delta P^{1k} i j A_i W^k i Y^k i Y^1 j \quad \dots\dots\dots (8)$$

式(7), (8)において, λ は各項の相対的ウェイトを示している。これら両式より立地機能 k が現状 Y^k から立地戦略 X^k を採ったとき増分効用 ΔU^k は次式で与えられる。

$$\Delta U^k = U^k - U^{k_0} \quad \dots\dots\dots (9)$$

従って, 各立地機能は式(9)で与えられる増分効果を最大化するような戦略 X^k を選択しようとする。

4-5 n人協力ゲームによる定式化

先に述べた前提条件(5)により, プレーヤーは用地需要制限の下で自由に提携を組むことが出来る。今, 任意の提携を S とし, S の補集合 \bar{S} とすると, 前提(7)のMPRは次式で表すことが出来る。但し, $v(S)$ は S の提携値であり, $[S]$ は提携 S のメンバーの数を意味する。

(1) $[S] > [\bar{S}]$ のとき

$$v(S) = \max_{X^k} \left\{ \sum_{k \in S} \Delta U^k (X^k) \right\} \\ \text{Sub. to } \sum_k \sum_j A_j X^k j \leq A \\ B^k \leq \sum_j A_j X^k j \leq C \quad \dots\dots\dots (10)$$

(2) $[S] = [\bar{S}]$ のとき

$$v(S) = \max_{p^s} \min_{p^{\bar{s}}} \left[\sum_{k \in S} \sum_{\delta} \Delta U^k (X^s_r, X^{\bar{s}}_{\delta}) p^s_r p^{\bar{s}}_{\delta} \right] \quad \dots\dots\dots (11)$$

但し, p^s , $p^{\bar{s}}$ は S 及び \bar{S} が戦略 X^s , $X^{\bar{s}}$ を採る確率を意味し

$$X^s_r = \{X^k_r : k \in S\}$$

$$X^{\bar{s}}_{\delta} = \{X^1_{\delta} : 1 \in \bar{S}\}$$

なる有効戦略の組とする。

(3) $[S] < [\bar{S}]$ のとき

$$v(S) = \max_{X^k_*} \sum_{k \in S} \Delta U^k (X^k_*)$$

$$\text{Sub. to } \sum_k \sum_j A_i X^k_j \leq A \quad \sum_j A_j X^k_j \leq C^k \quad \dots\dots\dots (12)$$

但し、 X^k_* は \bar{S} が最大化行動

$$\text{Max}_{X^1 \in S} \sum \Delta U^1 (X^1) \quad \dots\dots\dots (13)$$

を採ったときに k に残された有効戦略の組を意味する。

式 (13) の意味は以下のようなものである。例えば、 $N = (A, B, C)$ で $M = \{1, 2, 3, 4\}$ という 3 人、4 ゾーンの問題で、提携 $S = \{C\}$ を考えてみる。仮に全ての制約を満たす戦略の内、提携 $\bar{S} = \{A, B\}$ の構成メンバーが自分達の効用 $\Delta U^{\bar{S}} = \Delta U^A + \Delta U^B$ を最大化する戦略として

$$X^A = \{1, 0, 0, 0\}, X^B = \{0, 1, 0, 0\}$$

を採ったとすると、このとき C に残された有効戦略は

$$X^C_* = \{(0, 0, 1, 0), (0, 0, 0, 1), \\ (0, 0, 1, 1), (0, 0, 0, 0)\}$$

の 4 つである。 C はこれらの戦略の内、自己の効用 $\Delta U^C (X^C_*)$ を最大にする戦略を選べる、という意味である。

以上の式 (10) ~ (13) は MPR の考え方を利用したものであるが、長尾・黒田・若井の定式化とは式 (13) が異なっている。

さて、各提携 S の提携値 $v(S)$ が以上のように与えられたとき、多くの立地行動の内どれを採用するかが問題となるが、ここでは、D. Schmeidler⁹ の提案による【仁 (Nucleolous)】の概念を適用し、有効戦略の内、最大不満を持つ提携に着目してこれを最小化する、という「寛容の仁」の考え方をを用いる。すなわち、

$$\text{MinMax}_{X \in S} D^S (X) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$D^S (X) = v(S) - \Delta U^k (X) \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{Sub. to } \sum_{k \in N} \Delta U^k (X) \geq 0 \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$\sum_k \sum_j A_j X^k_j \leq A \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$B^k \leq \sum_j A_j X^k_j \leq C \quad \dots\dots\dots (18)$$

式(15)の $D^s(X)$ は立地戦略 X が採用されたときの提携 S の不満の大きさを表しており、制約条件(16)は戦略 X が社会全体として現状よりも多くの効用を得るものでなければならないことを意味している。

注(1) 青山吉隆：土木学会論文集，第347号／IV-1（1987）

(2) 佐々木綱，朝倉康夫：土木学会論文集，第347号／IV-1（1984）

(3) 青山吉隆，森杉寿芳：地域学研究（1970）

(4) Garrinn R. A.: Jour. of Amer. Inst. of Planners, (1966)

(5) 中村英夫，林 良嗣，宮本和明：土木学会論文報告集，第339号（1983）

(6) 森川高行，長尾義三：土木計画学研究講演集，（1985）

(7) Suzuki, M. & Nagayama, M.: Management Science, Vol.22, No 10, (1976)

(8) 長尾義三，黒田勝彦，若井郁次郎：土木学会論文報告集，第338号（1983）

(9) Schmeidler, D.: Jour. of Appl. Math., Vol. 6, (1969)

5. 簡単なケース・スタディ

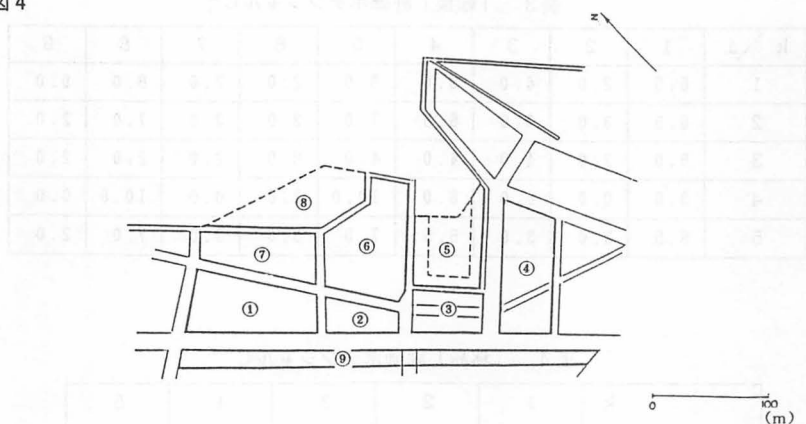
モデルの有効性を見るために清水港の再開発地区の一部で簡単なケーススタディを実施した。紙数の都合上，清水港再開発地区の現状については説明を省く。

5-1 5人ゲームの適用

計算例では，以下の機能をゲームに参加出来るプレーヤーとした。

- 1) プレーヤー①（工場・倉庫）
- 2) プレーヤー②（商店・住宅）
- 3) プレーヤー③（観光船ターミナル・駐車場）
- 4) プレーヤー④（イベント・親水性広場）
- 5) プレーヤー⑤（隣接地区の商店・住宅）

図 4



以上のプレイヤーを想定して図4に示す様な9ゾーンに分割した。図において、ゾーン⑨にはプレイヤー⑤、すなわち、隣接地区の既存の商店・住宅が立地しており、再開発の直接対象ではないが、プレーには参加できる。しかし、彼の有効戦略 X^5 は以下に限られている。

$$X^5 = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1\}$$

ポテンシャル評価の詳細は省略するが各ゾーンにおける各機能の立地ポテンシャルをまとめたのが表2、転換および移転による損失ポテンシャル C^{ki} および C^{Mk} はそれぞれ表3、表4に示す。また、交互作用係数 α^{lk} を表5に示す。

表2 立地ポテンシャル P_i^k

$k \backslash i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	7.56	7.72	8.10	9.70	9.50	1.83	1.72	1.40	7.60
2	7.40	8.00	8.00	3.60	5.60	5.60	7.00	4.00	9.40
3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.50	8.50	1.50	8.50	0.0
4	6.88	6.88	6.88	3.88	10.0	6.88	10.0	10.0	4.00
5	7.40	8.00	8.00	3.60	5.60	5.60	7.00	4.00	9.40

表3 「転換」評価ポテンシャル C_i^{ck}

$k \backslash i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6.0	2.0	4.0	6.0	8.0	2.0	2.0	8.0	9.0
2	6.5	3.0	3.0	6.5	7.0	3.0	3.0	7.0	2.0
3	6.0	2.0	4.0	4.0	4.0	8.0	2.0	2.0	2.0
4	3.0	0.0	0.0	6.0	10.0	2.0	0.0	10.0	0.0
5	6.5	3.0	3.0	6.5	7.0	3.0	3.0	7.0	2.0

表4 「移転」評価ポテンシャル C^{mk}

k	1	2	3	4	5
C^{mk}	-4	-10	-5	0	-10

表5 交互作用係数 α^{lk}

$k \backslash \ell$	1	2	3	4	5
1	1.0	0.2	0.8	0.5	0.2
2	-0.8	1.0	0.2	0.8	1.0
3	-0.1	0.1	1.0	0.9	0.1
4	0.1	0.5	0.5	1.0	0.5
5	-0.8	1.0	0.2	0.8	1.0

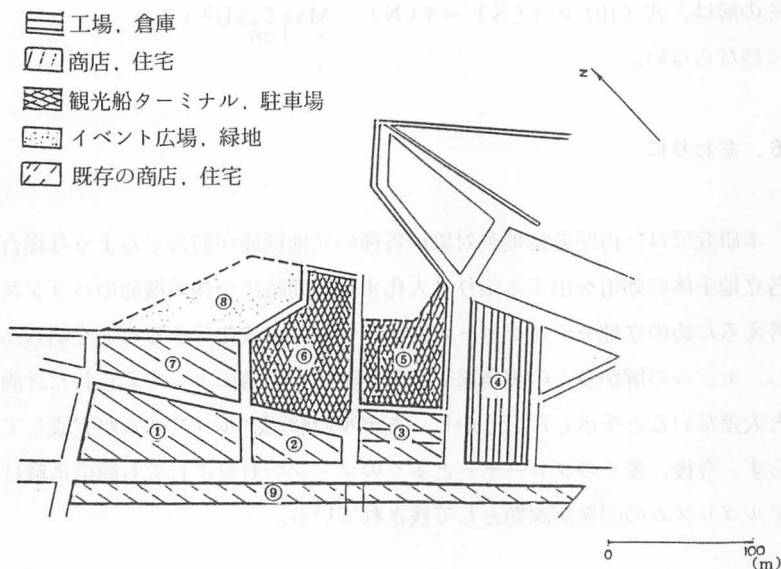
k : 影響を受ける立地機能

ℓ : 影響を与える立地機能

5-2 結果の検討

結果の一例を図5に示す。図より理解されるように、ゾーン⑨の既存の商店・住宅に隣接するゾーンでは、やはり商店・住宅が立地し、工場は近接する大水深の耐震バースの影響でゾーン④に立地する。また、観光船ターミナルは現在位置に最も近くに、親水性広場はその性質上ゾーン⑧に立地することになっている。これらの立地パターンは既に計画されている土地利用のパターンと極めて似通っており、ポテンシャル算定が適切であれば多くの専門家の議論によって計画されたパターンと大差ない利用パターンを自動的に

図 5



算定出来るモデルであると判断される。

5-3 従来型最適化モデルとの比較

先に述べたように、本モデルは規範型最適化モデルを含んでいる。すなわち、最適化モデルは本モデルの特殊な場合になっている。以下、この点について議論する。

いま、最適化の目的関数を全ての立地機能の効用の総和とすると、

$$f = \sum_{k \in N} \Delta U^k (X^1, \dots, X^k, \dots, X^n) \quad \dots\dots\dots (19)$$

上式の目的関数は操作変数が各機能の立地戦略 X^k ($k = 1, 2, \dots, n$)、であり、在来型の最適化問題に書き直すと以下の様になる。

$$\text{Max} \sum_{k \in N} \Delta U^k (X^1, \dots, X^k, \dots, X^n) \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$\text{sub. to } \sum_j A_j X_j^k \leq A$$

$$B_j^k \leq \sum_j A_j X_j^k \leq C^k \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$0 \leq X_j^k \leq 1 \quad \dots\dots\dots (22)$$

式 (20) はプレーヤーの全集合が提携を組んだ場合、即ち、 $S = N$ に相当し、

その解は、式 (10) の $v(S) = v(N) = \max_x \sum_{k \in N} \Delta U^k(X)$

に他ならない。

6. おわりに

本研究では、再開発跡地を対象に各種の立地機能が競合するような場合、各立地主体の効用を出来る限り最大化すると同時に全体の機能のバランスを考えるための立地モデルをゲーム理論によって定式化できることを明らかにし、モデルの解が多くの実務家や学識経験者の討議によってえられた計画案と大差ないことを示した。しかし、モデルの解法アルゴリズムが完成しておらず、今後、多くのプレーヤーと多くのゾーンを対象にしても簡単に解けるアルゴリズムの開発が課題として残されている。