

高速道路整備が人口分布に与える影響の把握

Building a model prediction regional development impact of transportation investment

室蘭工業大学	○学生員	塚田 建人(Tatehito TSUKADA)
函館工業専門学校	正 員	佐々木 恵一(Keiichi SASAKI)
室蘭工業大学	正 員	田村 亨(Tohru TAMURA)
専修大学北海道短期大学	正 員	梶谷 有三(Yuzo MASUYA)

1. はじめに

北海道にはまだ多くの未供用及び未着工の高速道路が存在する。しかしながら、道路投資余力が減少していることと、地方部の人口減少を考えれば、より精緻な高速道路の投資効果モデルが必要とされる。これに関係した研究として経済の分野では経済波及効果の面等から検討した研究が数多くある。本研究は経済モデルのうち人口の定着の面から人口動態を面的に捉えることが出来る動学的モデルの新たな構築を検討する。

ところで、北海道産業構造調査(1998年)では、北海道を道央・道南・道北、そしてオホーツクの4地区に分割して、各地区の特化度の高い産業を生かしつつ自立した地域育成を推進する方針が提唱されている。しかし現実には、地方部からの札幌都市圏への人口流入が進んでおり、現在札幌都市圏においては北海道全体の約40%の人口が集中している。

北海道は広域分散型社会構造と言われ、高速道路による面的連携を考慮して社会基盤整備が行われてきた。しかしながら、時間距離の短縮が結果として札幌都市圏への人口集中を引き起こしている。今後、北海道に投入される公共事業費が削減される可能性を考慮すると、交通社会基盤整備により変化する地域間相互の関係性を含む評価モデルにより、効果的な社会基盤整備位置ならびに運用方法を検討しなくてはならない。そのため、高速道路整備のタイミングが地域人口分布に与える影響を動学的に分析できるモデルの構築が必要である。

本研究は、空間相互作用を取り込んだ都市成長モデルであるP. Allenモデルを基に、今後の高速道路整備順位の違いが人口動態に与える影響を実証的に分析することを目的とする。

2. P.Allenの自己組織化モデル¹⁾²⁾

2-1 問題の背景

北海道の人口変動を14支庁別に見ると、札幌を中心とする石狩支庁に他13支庁の人口が吸収されていることが分かる。北海道の総人口は1985年に一度減少傾向に転じているが、その後増加傾向にある。その間、石狩支庁は増加を続け、1990年には200万人を越え、全道総人口の37%に至っており、今後も石狩支庁への人口集中は続くと考えられる(図-1)。

北海道の高速道路は現在、道央自動車道(旭川～札幌～長万部)、札幌自動車道(札幌～小樽)、道東自動車道(清水～池田)、日高自動車道(苫小牧～厚真)が開通しており、今後2020年までに図の様な整備計画が立てられている。

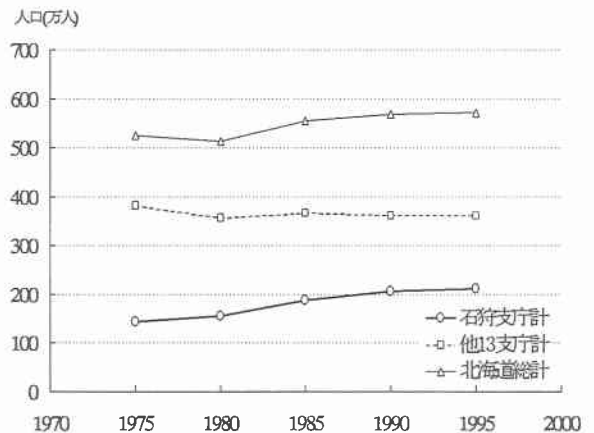


図1 全道総人口の推移

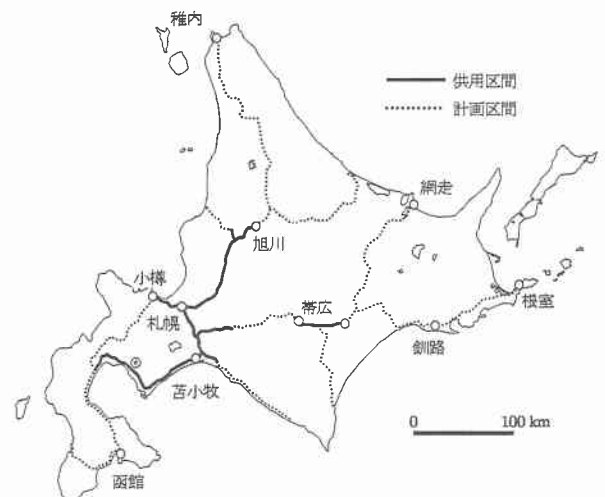


図2 現在の高速道路網と未供用の高速道路

高速道路網の整備効果として、地域の時間短縮効果による経済波及効果があげられるが、その一方で、人口のストロー効果による地域の衰退が問題視されている。一例を挙げると、1988年頃からの日高支庁の人口減少率は、自然減とは考えにくく、同時期に日高自動車道整備の計画決定がなされており、高速道路整備計画が人口減に拍車をかけたと考えられる。

2-2 P.Allenの自己組織化モデル

都市の成長過程を動学的に扱ったモデルは、計量経済モデルに多く見られる。これら、経済モデルにおいても、ある領域を閉鎖系として捉え、均衡に到る過程を分析する手法が数多く開発されてきた。しかし、この手法の問題点として、都市は、①必ずしもシステムが均衡を迎えるとは限らない、②強い非線形フィードバックが起こる

ている、③基本的に開放系として捉えなければならないなどの問題点がある。

ところで地域計画学の分野でも多くの場合上記と同様に、構造と機能の相互作用において論じられることが多かった。しかしながら、現象が複雑化してくると、構造→機能→意味→構造→…という循環作用が生じる。このように、生成プロセスが次の生成プロセスの開始条件となっているようなプロセスの連鎖を考慮するために、P.Allen らは Prigogine が提唱した散逸構造理論を基本として、自己組織化モデルから都市の形成問題を捉えた。

P.Allen は n 個の都市からなるモデルにおいて、都市間の相互依存関係を明示し、自己組織化原理を組み込んだ都市人口モデルを提案した。これは、混沌とした状況の中から都市の人口分布が形成されていく過程を動学的に扱っている。

2-3 モデル式

P.Allen の自己組織化モデルは以下の5つの式から成り立っている。

$$\begin{aligned} \frac{dx_i}{dt} &= b_i x_i \left(J_i^0 + \sum_k J_i^k - x_i \right) - m_i x_i \\ &\quad + \tau \left\{ \sum_{j \neq i} x_j^2 \exp(-\beta d_{ij}) - x_i^2 \sum_{j \neq i} \exp(-\beta d_{ij}) \right\} \\ \frac{dJ_i^k}{dt} &= \alpha J_i^k (M_i^k - J_i^k) \\ M_i^k &= \lambda_i^k D_i^k \\ D_i^k &= \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{(P_i^k + \phi^k d_{ij})^{\frac{1}{\gamma}}} \frac{A_{ij}^k}{\sum_{r=1}^n A_{rj}^k} \\ A_{ij}^k &= \frac{\left[\gamma - \frac{\delta + \rho^k (x_i - x_i^h)}{(P_i^k + \phi^k d_{ij})^{\frac{1}{\gamma}}} \right]^{\frac{1}{\gamma}}}{(P_i^k + \phi^k d_{ij})^{\frac{1}{\gamma}}} \end{aligned}$$

ここで、

- t : 時間変数、 x_i : i 都市人口、
- b_i : 出生・転入による人口増加を表すパラメータ
- m_i : 死亡・転出による人口減少を表すパラメータ
- J_i^0 : i 都市基礎雇用可能量
- d_{ij} : i, j 都市間時間距離
- x_i^h : 都市機能 k を持つための人口閾値
- J_i^k : i 都市の機能 k による雇用可能量
- M_i^k : i 都市の都市機能 k に対する潜在需要に対応する雇用需要
- D_i^k : i 都市の都市機能 k に対する潜在需要
- A_{ij}^k : i 都市から見た j 都市の都市機能 k の魅力度
- ε^k : 人口人当たりの都市機能サービス k の需要量
- ϕ^k : i, j 都市間の距離に関する交通コスト
- λ^k : i 都市への都市機能サービス k の単位需要に対応するパラメータ
- $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \rho^k$: パラメータ

P.Allen のモデルの特徴は動学的に都市の形成過程を再現出来ることもさる事ながら、魅力度から都市形成を説明する点にある。今後のインフラ整備が量的社会整備

だけではなく、質的な整備（例えば、住環境など）を考えるべきことが指摘される中で、その内生化が容易である P.Allen モデルは有効と考えられる。

2-4 モデル式の内容

式5は j 都市の住民の i 都市に立地する都市機能 k に対する魅力度の評価である。すなわち遠距離にある都市機能サービスの魅力度は薄れ、その地域の人口が多ければ魅力度は向上することを表している。式4は i 都市に立地する都市機能 k に対する潜在需要を表しており、都市の相対魅力度に対応している。式3は i 都市に立地する都市機能 k に対する潜在需要を供給するために必要とされている雇用者数を表している。式2は式3から導かれる潜在需要量 M_i と現実の雇用可能量 J_i とのギャップから、新たな雇用可能量の増分が決定されることを表している。式1は i 都市の人口増分は雇用可能量に応じ、他地域との人口の転出入は人口圧力及び距離によって決まることを表している。

つまり、人口の変化が都市の魅力度を変え、潜在需要に変化が生じる。潜在需要による雇用可能量と実際の雇用可能量とのギャップが新たな雇用を生み出し、都市の人口に変化が生じるということである。

本研究では、このモデルを北海道の人口分布問題へと適用した。具体的には、北海道の14支庁区分における人口分布をシミュレートするのだが、本モデルは多くのパラメータを外生的に与えなくてはならない。しかしながら、本モデルは非線形構造であること、また一部不連続関数を含むことからパラメータの推計は容易ではない。そこで本研究ではランダムサーチを用いて近似値を求めた。その結果は以下の通りである。

$$\begin{aligned} b_i &= 0.003, \quad m_i = 0.06, \quad \tau = 0.01, \\ \alpha &= 0.028, \quad \beta = 2.3, \quad \gamma = 1.1, \quad \delta = 10, \\ P_i &= 1, \quad I = 1, \quad e = 1, \\ \varepsilon^1 &= 0.25, \quad \varepsilon^2 = 0.15, \quad \varepsilon^3 = 0.1, \quad \varepsilon^4 = 0.01, \\ \rho^1 &= 1, \quad \rho^2 = 0.2, \quad \rho^3 = 0.1, \quad \rho^4 = 0.01, \\ \phi^1 &= 1, \quad \phi^2 = 0.15, \quad \phi^3 = 0.1, \quad \phi^4 = 0.01, \\ X_1^h &= 10, \quad X_2^h = 30, \quad X_3^h = 50, \quad X_4^h = 100 \end{aligned}$$

2-5 P.Allen モデルの改良点

本モデルを利用するに当たって、都市機能をどの様に定義するかという問題がある。この都市機能は、各都市の人口が人口閾値を越えると、より高次の都市機能が発現するという形でモデルに組み込まれている。本研究ではこの点を明らかにするため、北海道の各産業の就業者との関係から分析を進めた。

図2は北海道の都市規模と産業構造を示したもので、これから次の3点が分かる。まず第1次産業の就業者は全就業者に占める割合は最も低く、人口100万人前後の時点で頭打ちになることがわかる。また、第2次産業の就業者は都市人口とともに増加し、全就業者の中でほぼ一定の比率である。一方、第3次産業の就業者は、人口の増加に伴いその増加率も上昇する。そして都市の規模が大きくなるにつれて、第1次産業の規模は縮小し、第

3次産業の割合が高くなる。

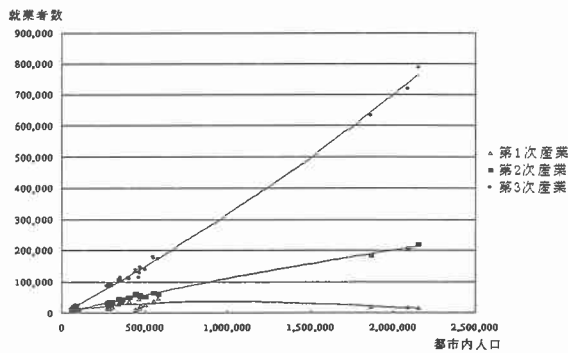


図3 都市規模と産業構造（北海道）

本研究ではこの産業就業者の比率が変わり、都市の機能が変化する人口を閾値と考えている。

表1 産業別就業者比率

	構成比		
	第1次産業	第2次産業	第3次産業
10万人以下	0.26	0.24	0.50
～30万人	0.11	0.25	0.65
～50万人	0.15	0.25	0.60
100万人	0.09	0.22	0.69

都市の規模が増大するにつれて高次の産業が発現する理由を、本研究では各産業の規模に対する固定費と考える。商業施設を例として考えると、小さな商店は客数が少なくとも運営は可能であり、都市規模が小さくても存在する。しかし、大型店についてはその固定費も増大し、ある程度の人口集積を有していなければ存在できない。そのため、各産業内の業種から都市機能を明確にする必要があると考えるが、データの制約があるため本研究では平成5年、9年の北海道市町村勢要覧より、第1次・第2次・第3次産業の就業者数を調べ、各都市機能の雇用需要を定式化することとした。

人口10万人以下の都市の就業者構成を見ると、第1次産業が25～30%あり、人口の増加とともに他の産業も増加する。人口が30万人を超えると第1次産業の就業者の増加は鈍化してくる。そのため、都市機能1の雇用需要については、第1次産業就業者を基本とし、人口30万人のときの各産業の就業者の比率がそれ以降も続くもの考え、図3の太線部分と考えた。また、都市機能2以降は都市内の就業者数から都市機能1の雇用需要量を差し引いたものを各閾値間のデータで回帰式を作り求めた。以下に各都市機能における雇用需要量の式を示す。

$$(\text{都市機能 1}) = 8.0 \times 10^{-14} P^3 - 4.0 \times 10^{-7} P^2 + 0.6284 P$$

$$(\text{都市機能 2}) = 0.643 P - 19290$$

$$(\text{都市機能 3}) = 0.754 P - 37700$$

$$(\text{都市機能 4}) = 0.3379 P - 337900$$

3. コーホート生存モデル

3-1 コーホート生存モデル

本研究では、人口の時間推移を分析の対象にしているが、その概略値を算出するため、コーホート生存モデルとの比較を行っている。

ある特定地域全体の人口は、出生と死亡からなる自然

増減と、地域間の人口移動による社会増減からなると考えられる。これらを区別して将来の人口を推計するモデルの代表的なものとして、コーホート生存モデルがある。

3-2 人口

年次 t における人口を年齢階層 k に応じていくつかのグループに分ける。通常は5歳ごとに層別し、85歳以上を1つのグループにまとめ、計18のグループに分ける。

よって、年次 t の年齢階層 k の人口を P_k^t とすると、年次 t における人口は次のように表せる。

$$P^t = [P_1^t, P_2^t, P_3^t, \dots, P_{18}^t]$$

実際には、18階層の他に年齢不詳のグループがあるので人口データを補正する必要がある。

$$\begin{aligned} (\text{補正係数}) &= \frac{(\text{人口総数})}{(\text{人口総数} - \text{不詳者数})} \\ (\text{階層 } k \text{ の補正人口}) &= (\text{階層 } k \text{ の人口}) \\ &\quad \times (\text{補正係数}) \end{aligned}$$

3-3 出産による増加

ある地域の出産可能な女性の階層を $k = \hat{k}, \hat{k} + 1, \hat{k} + 2, \dots, \hat{k}$ とし、女性の階層 k における人口1人当たりの出産率を b_k とすると、年次 $t + T$ における人口増加は次のようになる。

$$P^{t+T}(b) = \left[b_{\hat{k}} P_{\hat{k}}^t + b_{\hat{k}+1} P_{\hat{k}+1}^t + \dots + b_{\hat{k}} P_{\hat{k}}^t, 0, \dots, 0 \right]^T$$

3-4 生存（死亡）による増減

ある地域の、年次 t において階層 k に属する人が、年次 $t + T$ において階層 $k + 1$ に属するようになる確率を $s_{k,k+1}$ とすると、生存による年次 $t + T$ における階層 $k + 1$ の人口は次のようになる。

$$P(s)_{k+1}^{t+T} = s_{k,k+1} P_k^t$$

3-5 人口移動による増減

階層 k の実際の人口と、計算によって求めた階層 k の人口との差を、人口移動による増減（社会増）とした。

4. 高速道路建設のシナリオ

4-1 ルート

現在建設中またはルートが確定している区間は具体的には、七飯～函館、七飯～長万部、和寒～名寄、比布～遠軽、夕張～十勝清水、池田～本別、本別～北見、本別～釧路がある。更に、ルート未定の区間は、江差～函館、小樽～長万部、留萌～深川、厚真～静内、静内～浦河、帯広～広尾、釧路～根室、北見～網走、遠軽～紋別、名寄～稚内がある。ルート未定の区間は、都市間を結ぶ国道と隣接して建設されるものとして、ルート設定をした。

ルートは先に示した区間を1区間とし、1区間内での部分供用は行なわないものとする。

4-2 建設距離

高速道路の建設費は、地理的要因、社会的要因など数多くの不確定要素に左右される。このような条件下では、

1 期間内の建設予算と建設コストから当該期間の建設可能距離を求め、その値を一律に使用することは困難である。そのため、本研究では次のように仮定して分析を行った。

現在未供用の高速道路は建設中の区間・未着工の区間合わせて約 1350km ある。5 年を 1 期間とし、2020 年に全面供用をするため、4 期に分けて建設する。よって、1 期間ごとに約 340km の高速道路を開通させるものとする。

4-3 開通順

地方中核都市人口定着の基盤となるように、早期に地方中核都市に接続する高速道路を開通させる。具体的には以下のような順で建設する。第 1 期：江差～函館、函館～七飯、池田～本別、本別～釧路、釧路～根室（313.2km）。第 2 期：小樽～長万部、帯広～広尾、本別～北見、北見～網走（368.2km）。第 3 期：留萌～深川、和寒～名寄、名寄～稚内、遠軽～紋別、静内～浦河（323.4km）。第 4 期：夕張～清水、七飯～長万部、沼ノ端～静内、比布～遠軽（341.5km）。

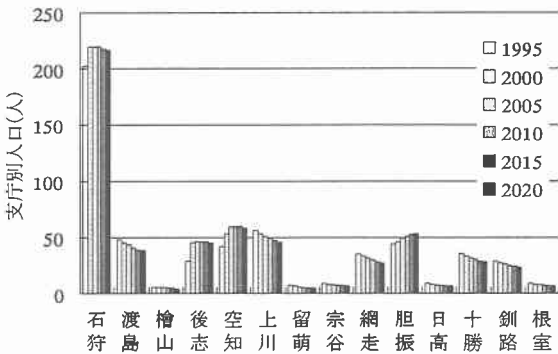


図 4 高速道路整備なし

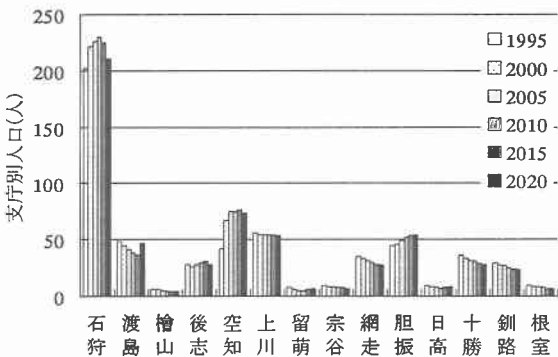


図 5 高速道路整備有り

4-4 分析結果と考察

図 4 は高速道路整備を行なわなかった場合の 1995 年から 2020 年までの人口推移の予測を示す。また図 5 は高速道路整備を 4-3 で述べた順に高速道路整備を行なった場合の人口予測を示す。これらの図より次のことが言える。

上川支庁の人口は高速道路整備を行なわなかった場合、2010 年以降 50 万人を割り込んだが、高速道路整備を行なった場合 50 万人を割ることはなかった。これは、上川支庁が隣接する留萌支庁・宗谷支庁・網走支庁に比べ

都市の魅力度が高いため、3 支庁、特に留萌支庁から早期に人口が流入し、人口を支える雇用需要が作られた為と考えられる。一方、留萌支庁の人口が 2015 年以降上昇に転じたのは、魅力度の極めて高い石狩と人口を支える基盤の出来た上川支庁の両支庁との時間距離を短縮する高速道路が 2010 年に開通したため、この両支庁の魅力度に影響されるかたちで、留萌支庁の魅力度が相対的に上がったためと考えられる。更に後志支庁の人口の伸び悩みは、近くに大きな魅力度を持った石狩支庁があるだけでなく、早期に上川支庁の魅力度が上がったために後志支庁の魅力度が相対的に低下したのが原因と思われる。その後人口は増加に転じるも、第 4 期により魅力度の高い渡島支庁との時間距離が短縮されたため、後志支庁の人口が吸収されている。また、十勝支庁・釧路支庁・根室支庁の人口に大きな変化が見られないのは、早期に高速道路が開通したが石狩支庁など魅力度の高い支庁との時間距離の短縮がそれほどなかったため、この 3 支庁間での人口の定着が進んだためと考えられる。

人口(万人)

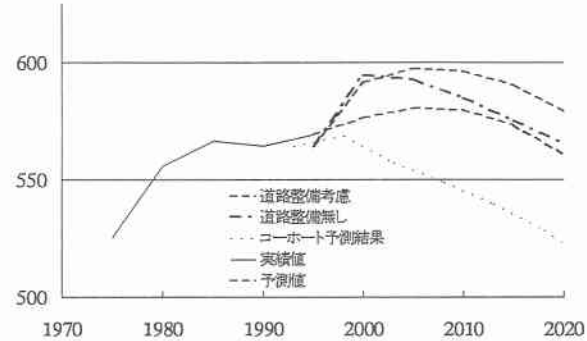


図 6 人口の予想推移

さらに北海道全体で見ても、高速道路整備を考慮した場合は道路整備なしの人口予測、コーホートによる予測よりも人口の最大値が大きいことが分かった（図-6）。これから、高速道路整備は、北海道の人口定着に寄与することが分かる。

5. 終わりに

本研究により雇用と人口分布の関係をとり込んだ。今後の課題としては、①魅力度を明確化すること、②他のシナリオの分析により効果的な高速道路の整備計画を立てること、③モデルを更に精緻化し、北海道全 212 市町村について高速道路が人口動態に与える影響を分析することの 3 点が挙げられる。

参考文献

1) Allen. P. M and Sangler. M (1981) : UrbanEvaluation, Self organization, and Decision-Marking, Environment and Planning A, Vol. 13 pp. 167-183
2)山口 宗吾、宮田 譲、山村 悦夫：地域人口分布の自己組織化モデルについて、土木学会北海道支部 土木学会論文報告集 pp.475-480 1989