

人口減少時代に向けた地域分類に基づくアクセス系集線設計手法

中山悠

Aggregation planning for access network based on region classification for the depopulation age

Yu NAKAYAMA

Abstract: The populations of industrialized countries will decline over the coming decades. When subscriber density decreases along with the population decline, it is important to design access network efficiently. However, dynamic optimization models for facility location take too much resource. In this study, we propose an aggregation planning for access network using the estimation of population movements. The effectiveness of the proposed method was evaluated by the case study in Yamanashi.

Keywords: アクセスネットワーク (access network), アクセス系集線 (aggregation), 人口減少 (population decline), 地域分類 (region classification)

1. はじめに

先進諸国では今後一般に人口が減少し (Lutz et al., 2001), わが国でも大都市周辺を除いたほとんどの地域で人口減少が見込まれている (国立社会保障・人口問題研究所, 2008).

近年, FTTH (Fiber To The Home) アクセス回線数は増加し, ブロードバンドサービス全体の 5 割を超える (総務省, 2011). 一方で, 人口密度が低く需要の散在する地域では, 今後の設備展開が期待される状況にある. ただし, 人口密度が低い地域においては, アクセス系設備効率の悪化という課題が存在する. これは, 人口の集中する都市地域と比べサービス加入者密度が低いいため, アクセス系設備への加入者収容率が低下し, 加入者あたりの投資コストが高くなることに起因する. そうした課題に対し, 加入者密度に応じて配備コストを最小化するアクセス系

集線設計技術が提案されている (中山, 2010; 中山, 2011). さらに今後の人口減少は加入者密度低下を助長するため, 将来的な加入者密度低下を考慮した効率的な設備計画の必要性が高まる.

施設立地に関し, Schilling (1980) などにより, 時間軸を加味した最適化も検討されてきた. ただし, 時間軸を加味した手法を単純な計算方法で実現しようとする, 莫大な計算量が必要となる課題があった (Klose, 2005). アクセスネットワークの効率化に関し, 多くの研究が行われてきた (Hakimi, 1964; Huelsermann, 2008 など) が, 時間軸を加味した設計手法は十分に検討されていなかった.

本稿では, 人口動態をはじめとした各地域の特性を利用して計算量を削減し, 一定期間後の設備の利用効率を最大化するシナリオを導き出す手法を提案し, ケーススタディからその有効性を検証する.

中山悠 〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

日本電信電話株式会社 NTT アクセスサービスシステム研究所

Phone: 046-859-2106

E-mail: nakayama.yu@lab.ntt.co.jp

2. 提案手法

2.1 検討の条件

本研究では, 一定の地域におけるマスマユーザー向け

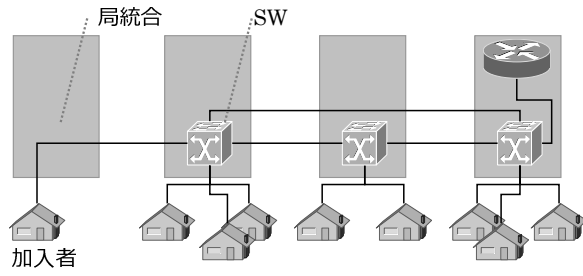


図 1 アクセス系集線

アクセスネットワークの集線区間を検討対象とする。初期時点で全局舎において一定規模の集線装置（以下 SW）が存在し加入者回線が集線されている状態を想定し、構成変更により、一定期間 T 後の収容率を高めるシナリオを導出することを目的とする。収容率とは、対象地域内の加入者数の、設置された SW の最大収容数に対する比率とする。これは時間経過による加入者数減少に際し、設備利用効率低下を抑止することを意味する。ここでは、常に全加入者回線が SW に収容され、一年に一度の構成変更が可能なものと仮定した。構成変更パターンとしては、各局舎における SW 数の変更および、当該局舎で集線を行わず、集線前の回線を他局舎に接続し合わせて集線を行う、局統合を考慮した（図 1）。局統合は、一定距離内で局間リンクと余剰帯域が存在し、統合時にリンク増設が不要な場合のみ実行すると仮定した。

2.2 目的関数と制約条件

はじめに、一定期間後の収容率を目的関数値として、集線構成に関する制約条件を定式化した。時刻を表す識別子 t とし、構成変更は t 更新後即座に実行されるとした。 ij は局舎と、その局舎に収容される加入者の存在範囲であるカバーエリアを指す識別子とした。時刻 t における局舎 j での集線の有無を B_{jt} で表し、局統合により回線を他局舎で集線する場合、 $B_{jt}=0$ とする。集線前の加入者回線に関し、 i に収容された回線を j で集線するか否かを A_{ijt} で表し、集線する場合 $A_{ijt}=1$ とする。SW の最大収容数 N 、局舎 j におけるカバーエリア内世帯数 s_{jt} 、サービス加入率 ρ_{jt} 、リンクあたり回線多重数 ϕ とおく。また局舎 j に設置された SW 数は、局統合を考慮した合

計収容数 $\sum A_{ijt} s_{jt} \rho_{jt}$ により定まる。すなわち天井関数を用いて、 $\text{ceil}(\sum A_{ijt} s_{jt} \rho_{jt} / N)$ と表せる。以上から、目的関数および制約条件は次のように表せる。

$$\max \text{ 収容率} = \frac{\sum_j s_{jt} \rho_{jt}}{N \sum_j \lceil \frac{\sum_i A_{ijt} s_{it} \rho_{it}}{N} \rceil}$$

s.t.

$$\sum_j A_{ijt} = 1 \quad \forall i \quad (1)$$

$$B_{jt} = A_{jtt} \quad \forall j \quad (2)$$

$$B_{jt} - A_{ijt} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$A_{ijt}, B_{jt} = 0, 1$$

2.3 最適シナリオ導出アルゴリズム

本研究では、各エリアの地域特性を利用し、構成変更パターンを限定することで計算量の削減を図った。今後都市地域では人口が減少し難い一方、郊外・過疎地域ほど大きな人口減少が予測される。よって、初期時点と時間経過後で最適な構成が異なるのは郊外・過疎地域と考えられる。将来的に発生が予想される SW や局間リンクの余剰を利用することで、効率的に収容率を向上可能と考えられる。また、統合済みの局舎を再び開くことは非効率と考えられる。

提案するシナリオ導出手法は以下である。まず、エリア内の統計情報に基づき各局舎を都市型と郊外・過疎型に分類する。 $t=T$ における加入者数推定値を用いた将来的な最適解を、式(1)～(3)に基づき遺伝的アルゴリズムにより求める。その上で、初期状態からの移行シナリオを次のように導出する。都市型は速やかに終局状態へ移行し、郊外・過疎型に関し、構成変更を実施する最適時刻を探索し求める。本手法により、少ない計算量で時間軸を考慮したシナリオが導出可能となる。

3. ケーススタディ

3.1 利用したデータと評価方法

提案手法の有効性をケーススタディにより評価した。同じ条件の下、(A) 提案手法により求めたシナリオと、(B) 時間軸を考慮しない最適シナリオ、すなわち $t=0$ でのみ構成変更を実行する場合の最適解を遺

伝的アルゴリズムによって求めたもの、を比較した。

対象地は山梨県とした。局舎に関する情報として、NTT 東日本により公開されている局舎カバーエリア情報を用いた。局舎カバーエリアの重心を局舎の位置と仮定し、これを基にドロネー三角形分割を行い、ドロネー辺を局間リンクとして仮定した。

カバーエリアごとに、平成 17 年国勢調査データを集計した。世帯総数、人口変化率(H12-17 値、コーホート変化率法による H17-H22 値)、一戸建割合、老年人口割合、年少人口割合、親族世帯割合、非就業者世帯割合を算出した。複数局舎に収容される町丁目に関しては、各局舎に均等配分した。これらとエリア面積を用いて主成分分析を行い、主成分得点を用いてクラスター分析を行い、局舎を類型化した。

平成 17 年時を初期時点として 20 年間を計算期間とした。全ての j に関して $B_j=1$, $A_{jj}=1$ と仮定し、世帯総数から SW 数を求め、初期状態として用いた。SW の収容数としては、一般的に用いられる数千ユーザ規模を想定し $N=2000$ とした。簡易化のためサービス加入率は一定と仮定し、 $\rho=0.3$ とした。局統合時のリンクあたりの帯域は 1Gbps と仮定し、単位リンクあたりの回線多重数は、一般的な PON (Passive Optical Network) を想定し $\phi=32$ とした。また局統合時の最大距離は 20km, 40km とした。局間リンクに関し、各リンクに一定の未利用帯域が存在するものとし、全て 10Gbps とした。時間経過時の世帯数は、コーホート変化率法で求めた人口から算出した。

3.2 結果

まず、提案手法にてシナリオ導出に必要な局舎分類を得たプロセスと、分類結果に関して述べる。

分類に用いる評価軸を、統計情報の中から抽出するため、主成分分析を行った。結果として得られた、固有値が 1 以上の上位 2 成分の固有値および寄与率を表 1 に示す。固有値は約 4.5 および 2 で、複数の要素を集約している。上位 2 成分を合計した累積寄与率は 72%で、これは分析目的に対し十分な情報量であると言える。次に、各主成分の集約する情報に関する解釈を行った。各要素に関する主成分負荷量

を表 2 に示す。主成分 1 は老年人口割合や非就業者世帯割合の負荷量が高く、人口変化率や年少人口割合が低いことから、高齢化の度合いを表す成分と言える。一方、主成分 2 は一戸建割合や親族世帯割合の負荷量が高く、非就業者世帯割合や世帯総数が低く、これは都市周辺のベッドタウンの特徴と合致するため、郊外化の度合いを表す成分と言える。

さらに、局舎分類を得るため、各局舎の主成分得点を用いてクラスター分析 (Ward 法) を行った。結果として 3 類型を得た。各類型に分類された局舎の主成分得点の平均値を表 3 に示す。類型 1 に属する局舎は、主成分 1 の値が非常に高く高齢化の進行している過疎型と言える。類型 2 は唯一主成分 2 の値が正であるため郊外型と解釈される。類型 3 は主成分 1, 2 ともに負であり、高齢化や郊外化の要素が低い都市型と分類される局舎を示している。

各類型の空間的分布を図 2 に示す。都市型は甲府などの市街地に広く存在し、その周囲に郊外型がまるとまって分布し、過疎型が点在することがわかる。

以上の分類結果に基づき、目的関数値を最大化するシナリオを求めた。さらに本研究の主眼である、将来の人口減少が著しいと予想される郊外型と過疎

表 1 固有値と寄与率

	固有値	寄与率	累積寄与率
主成分1	4.535	50.39	50.39
主成分2	1.976	21.958	72.348

表 2 主成分負荷量

	主成分1	主成分2
面積	0.365	-0.206
世帯総数	-0.386	-0.752
人口変化率 H12-17	-0.882	-0.015
人口変化率 H17-22	-0.791	0.002
一戸建割合	-0.411	0.801
老年人口割合	0.924	0.075
年少人口割合	-0.91	0.046
親族世帯割合	0.582	0.731
非就業者世帯割合	0.813	-0.43

表 3 各類型の主成分得点平均値

	主成分1	主成分2
類型1(過疎型)	4.1441	-0.8757
類型2(郊外型)	0.956815	0.816185
類型3(都市型)	-1.52907	-0.30184

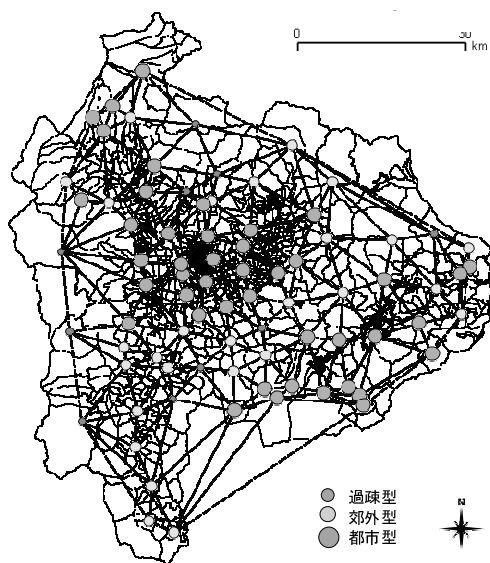


図 2 各類型の局舎分布

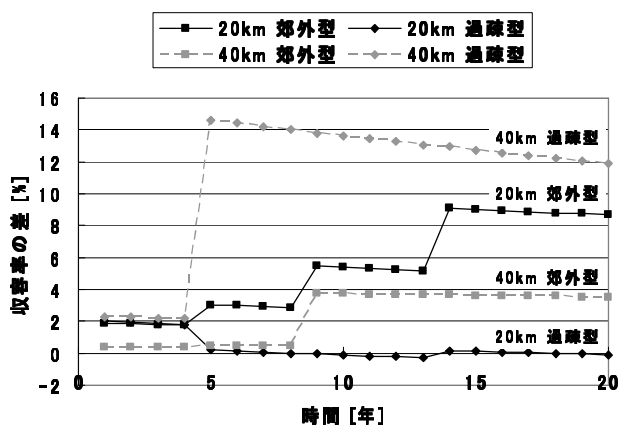


図 3 手法(A),(C)間の収容率の差

型に分類されたエリア毎に、その収容率を算出した。各時刻における、(B)により求められたシナリオにおける収容率との差を図3に示す。

(A)では、収容率減少によりSWや帯域に発生した余剰を利用して局統合を行うため、収容率の値は段階的な増加を繰り返す。(A)は(B)に対し、最大距離20kmのとき郊外地域で終局値が約10%高く、過疎地域では同等である。一方40kmのとき、郊外地域で約4%、過疎地域で12%高い。局舎密度が疎な過疎地域では、最大距離増加により統合先候補が増加し、最適解の収容率が向上している。その際統合先が郊外型となり易く、相対的に郊外型の収容率が向上し難い。これは、過疎型の回線数はNに対して小さく、

統合先の収容率向上への寄与が小さいことに起因する。最大距離が短い場合には、過疎型を統合可能な局舎が少なく、最適解の収容率も高くなり難い一方、郊外型を効率良く収容することができる。

また全体での収容率は、(A)は(B)に対し最大距離20kmで5%、40kmで5.5%向上した。いずれも(A)が優位であり、全体として収容率を向上させている。

以上から、提案手法は人口減少地域において特に有効で、時間経過を考慮した構成変更が有効である。

4. まとめ

本稿では、人口動態等の地域特性を利用して計算量を削減し、一定期間後の設備利用率を最大化するシナリオを導き出す手法を提案した。山梨県におけるケーススタディからその有効性を示した。老年人口割合と加入率の関係等、さらに他の特性を考慮することで推計精度を向上可能と考えられる。また今後適用範囲を広げ検証を行うことが重要である。

参考文献

- 総務省, 2011. ブロードバンドサービス等の契約数の推移(平成23年3月末).
- 中山悠, 2010. アクセス系集線の配備コスト最小化手法の構築. 「地理情報システム学会講演論文集」, **19**, 2, D-4.
- 中山悠, 2011. 立地配分モデルを用いた加入者密度を考慮したアクセス系集線設計. 「電子情報通信学会技術研究報告」, **110**, 391, 23-28.
- Hakimi, S. L., 1964. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations research*, **12**, 450-459.
- Huelsmann, R., Gunkel, M., Meusburger, C. and Schupke, D. A., 2008. Cost modeling and evaluation of capital expenditures in optical multilayer networks. *Journal of optical networking*, **7**, 9, 814-833.
- Klose, A. and Drexl, A., 2005. Facility location models for distribution system design. *European journal of operational research*, **162**, 1, 4-29.
- Lutz, W., Sanderson, W. C. and Scherbov, S., 2001. The end of world population growth. *Nature*, **412**, 6846, 543-545.
- Schilling, D. A., 1980. Dynamic location modeling for public-sector facilities: a multicriteria approach. *Decision sciences*, **11**, 4, 714-724.
- NTT 東日本, 情報webステーション. <http://www.ntt-east.co.jp/info-st/>, 2011年6月1日閲覧.