

# 人口減少下でのアクセス系局統合のための随意性を考慮した動的モデル

中山悠

## Dynamic model of access node integration considering voluntariness for the depopulation age

Yu NAKAYAMA

**Abstract:** The populations of industrialized countries will decline over the coming decades. A dynamic access network reorganization model for the depopulation age was proposed. Although the model was a dynamic model, it was simple because it assumed that the only option will be to close central offices. However, the property of the solution cannot be pre-specified with the model. This paper proposes a method for considering the voluntariness of the planning.

**Keywords:** アクセスネットワーク (access network), 局統合 (node integration), 人口減少 (population decline), 随意性 (voluntariness)

### 1. はじめに

通信事業者のネットワーク (NW) は一般的に、加入者を収容するアクセス NW と、バックボーンとなるコア NW からなる。特に、局舎の配置と加入者の収容配分を最適化し、アクセス NW を効率的に構築することは重要な課題であり、Hakimi (1964) 以来、様々な最適化モデルが提案されてきた。

Gourdin et al. (2001) は、アクセス NW の最適化モデルを容量制約付き (CFLP)、容量制約無し (UFLP)、動的 (DFLP) の三つに分類した。特に DFLP として、Balakrishnan (1995) による初期状態から局舎を配置し NW を拡大するモデル、Shulman (1991) による需要増加に対して局舎配置の位置と時刻を最適化しコストを最小化するモデル、Chardaire et

al. (1996) による需要増に対応するための容量制約無し動的モデル等が提案されてきた。ただし、これまでの動的モデルは、時間経過に伴った需要増加と局舎開設に焦点を当てていた。

しかしながら、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 (Kaneko et al., 2008)。人口減少に対しては、貞広ら (2009) が人口減少に対応した施設再配置計画手法を提案している。この手法では、施設再配置を距離制約付き CFLP としてモデル化しており、施設数を最小化する最適解の集合を生成した上で、統計的指標を用いて最適解を選択する。ただし、本手法は動的モデルではなく、時間経過に伴った最適化には対応していなかった。また Klose and Drexler (2005) により、施設の開閉を考慮した動的モデルは複雑性が高く、データ量、計算時間が膨大となるため実用性に乏しいことが指摘されている。

---

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

それに対し、Nakayama (2012) は人口減少下において、効率的に最適な局舎統合計画を導出可能な動的モデルを提案した。当該手法により、NW 構成変更回数を制約として、局舎数を最小化する解を算出することができる。

しかしながらこの手法では、得られる解の特性を予め指定できない、という課題があった。実際には、特定の局舎に関しては統合を行わない、あるいは一定時間以上経過後に統合する等、最適解とは異なる計画が必要な場合が想定される。そこで本稿では、このような随意性を考慮した動的モデルを提案する。

## 2. 提案手法

### 2.1 検討条件

まず、一定地域内の人口減少を前提とする。当該地域内では、既にマスメディア向けアクセス NW が整備され、各ユーザ回線がいずれかの局舎に收容されているとする。ここで、人口減少に応じて局統合を行う。局統合時には、統合局の全收容ユーザ回線を統合先局舎に接続し、統合局を閉局する。

本研究では、時間経過に伴った局統合計画を、動的な距離制約付き CFLP としてモデル化する。ただし、局統合には NW 構成変更が伴う。NW 構成変更にはコストを要するとともに、ユーザトラヒックの通信断が発生する。高コスト化および頻繁な通信断は好ましくないことから、NW 構成変更回数を一定以内に抑えることが重要である。

よって NW 構成変更回数を制約に、計画期間内の開局数の総和を目的関数とし、これを最小化する。

### 2.2 モデル

提案モデルは2つのステップからなる。基本的には Nakayama (2012) と同様であり、概要を述べる。

ステップ1では、各時刻  $t$  における開局数を最小化する解の集合を求める。 $i, j$  は局舎と、その局舎に

收容されるユーザの存在範囲であるカバーエリアを指す識別子とした。 $t$  におけるエリア  $j$  のユーザ数を  $s_{jt}$  とする。局舎  $j$  の状態を  $y_{jt}$  で表し、開局を1、閉局を0とする。エリア  $i$  のユーザ回線の  $j$  での收容状態を  $x_{ijt}$  で表し、 $i$  を  $j$  に統合する場合は  $x_{ijt}=1$  とする。 $j$  における最大收容可能ユーザ数を  $N_j$  とする。 $ij$  間の距離を  $d_{ij}$  とし、距離制約を  $R$  とする。人口減少を前提としていることから、一旦閉局した局舎を再び開くことは非効率であり、 $y_{jt}-y_{j,t+1} \geq 0$  とする。本制約により構成変更パターンを限定し、計算量を削減する。目的関数と制約条件を以下に示す。目的関数を最小化する解を  $X_t = \{x_{00t}, x_{01t}, \dots\}$ ,  $Y_t = \{y_{0t}, y_{1t}, \dots\}$  とする。

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_j y_{j,t} \\ & \text{s.t.} \\ & \sum_i x_{ij,t} s_{i,t} \leq N_j \quad \forall j \quad (1) \\ & \sum_j x_{ij,t} = 1 \quad \forall i \quad (2) \\ & y_{j,t} - x_{ij,t} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3) \\ & y_{j,t} = x_{jj,t} \quad \forall j \quad (4) \\ & x_{ij,t} d_{ij,t} \leq R \quad \forall i, j \quad (5) \\ & y_{j,t} - y_{j,t+1} \geq 0 \quad \forall j \quad (6) \\ & x_{ij,t}, y_{j,t} = 0, 1 \end{aligned}$$

ステップ2では、ステップ1で得られた各  $t$  における解集合  $P_t = \{X_{1t}, X_{2t}, \dots\}$ ,  $Q_t = \{X_{1t}, X_{2t}, \dots\}$  から、NW 構成変更回数を  $Z$  以下に抑えながら、開局数の合計を最小化する解の組み合わせを選択する。NW 構成変更回数は  $X_t, X_{t+1}$  間のハミング距離の総和で表せる。目的関数と制約条件を以下に示す。

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_t \sum_j y_{j,t} \\ & \text{s.t.} \\ & \sum_t H(X_{u,t}, X_{v,t+1}) \leq Z \quad (8) \\ & y_{j,t} - y_{j,t+1} \geq 0 \quad \forall j \quad (9) \\ & X_{u,t} \subset P_t, Y_{u,t} \subset Q_t, X_{v,t+1} \subset P_{t+1}, Y_{v,t+1} \subset Q_{t+1} \end{aligned}$$

### 2.3 随意性の考慮

従来は、提案モデルを用いて発見的解法により最適解を探索していた。ここで、計画の随意性を考慮するために、以下の方法を提案する。

$x_{ijt}$ ,  $y_{jt}$  の値をパラメタとして与え、予め一部の値を固定した上で最適解を算出する。時刻  $t$  における局  $j$  の開閉時期を指定するためには、 $y_{jt}$  の値を与える。制約条件から、 $y_{jT}=1$  とすれば、 $t \leq T$  において  $y_{jt}=1$  である。 $y_{jT}=0$  とすれば、 $t \geq T$  において  $y_{jt}=0$  である。また局統合状況を指定するためには、 $x_{ijt}$  の値を与える。制約条件  $x_{ijt}$  を指定することで  $y_i$ ,  $y_j$  が定まる場合がある。 $i=j$  に関し、 $x_{ijt}=y_{jt}$  を満たす。 $i \neq j$  に関し、 $x_{ijt}=1$  のとき  $y_{it}=0$ ,  $y_{jt}=1$  である。

また局  $i$  に関し、時期を指定せず、統合する際には  $j$  に統合する、という指定を可能とする。その際、 $y_i=0$  のとき  $x_{ij}=1$  とする制約条件を追加する。

以上の方法により、単純な最適解としては算出されない計画を、随意的に導出することが可能となる。

## 3. ケーススタディ

### 3.1 評価方法とデータ

提案手法の有効性をケーススタディにより評価した。提案手法（手法 a）と、再開局に関する制約条件無しで単純に毎時刻に最適化を行う手法（手法 b）とを比較した。

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、2000、2005 年国勢調査データからコーホート変化率法により求めた推定世帯数をユーザ数として用いた。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。2005 年を  $t=0$  として 20 年間を計算期間とした。全ての  $j$  に関し

て  $y_{j0}=1$ ,  $x_{jj0}=1$  とし、一年に一度の構成変更が可能なものと仮定した。各局舎の最大収容ユーザ数は、初期のユーザ数に依存すると仮定し、 $N_j=1.2s_{j0}$  とした。また局統合時の最大距離は 20km とし、 $Z=80$  とした。これは毎年リンクの 1%程度を構成変更可能な値である。

対象エリアの  $t=0$  における局舎の位置、ユーザ数を図 1 に示す。さらに、芦安、五開、山梨下山、山梨双葉、春日居、身延、大月東、忍野の 8 局舎（図 1 中の点線で囲まれた局舎）を 10 年後まで開き続ける、すなわち  $y_{j10}=1$  という条件を与え、最適計画を算出した。

### 3.2 結果

手法 a および手法 b により、まず各時刻において開局数を最小化する解を算出した。開局数の時間変化を図 2 に示す。手法 b は常に、手法 a より開局数を少なくしている。次に、制約条件を満たしながら目的関数を最小化する解を求めた。得られた解における開局数の時間変化を図 3 に示す。手法 a は、時間経過に応じて順次開局数を減少させている。一方で、手法 b では開局数の減少が小さい。

手法 a では特に、指定した 8 局舎に対する  $y_{j10}=1$  という制約が解ける  $t=11$  において複数の局舎を閉じ、効率的な局統合を実施している。提案手法により、解の特性を指定した上で、NW 構成変更回数を抑制し効率的な局統合を行うことが可能である。

## 4. おわりに

本稿では、人口減少下において、NW 構成変更回数を制約として最適な局舎統合計画を効率的に導出可能な動的モデルに対し、得られる解の特性を随意的に指定する手法を提案した。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。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

- 貞広幸雄, 貞広斎子, 佐藤誠, 多田明巧, 2009. 人口減少に対応した施設再配置計画立案支援手法の開発と適用. *Discussion Paper*, 99, Department of Urban Engineering, University of Tokyo.
- Balakrishnan, A., Magnanti, T. and Wong, R., 1995. A decomposition algorithm for local access telecommunications network expansion planning. *Operations research*, **43**, 1, 58--76.
- Chardaire, P., Sutter, A. and Costa, M., 1996. Solving the dynamic facility location problem. *Networks*, **28**, 2, 117-124.
- Gourdin, E., Labbe, M. and Yaman, H., 2002. Telecommunication and location. *Facility location*. Springer, 275-306.
- Hakimi, S. L., 1964. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations research*, **12**, 3, 450-459.
- Kaneko, R., Ishikawa, A., Ishii, F., Sasai, T., Iwasawa, M., Mita, F. and Moriizumi, R., 2008. Population projections for Japan: 2006-2055 outline of results, methods, and assumptions. *The Japanese Journal of Population*, **6**, 1, 76-114.
- 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.
- Nakayama, Y., 2012. Dynamic access network reorganization for the depopulation age. *IEEE SMC 2012*, 941 - 946.
- Shulman, A., 1991. An algorithm for solving dynamic capacitated plant location problems with discrete expansion sizes. *Operations Research*, **39**, 3, 423-436.
- NTT 東日本, 情報 web ステーション. <http://www.ntt-east.co.jp/info-st/>, 2012 年 1 月閲覧.

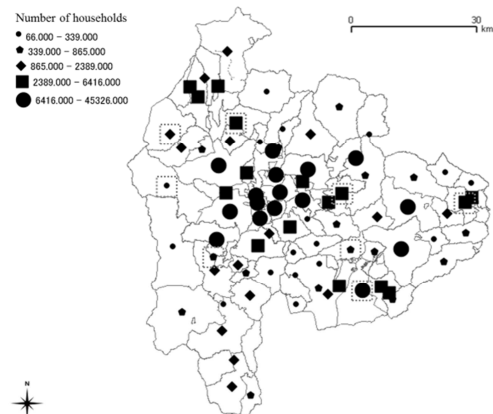


図 1 山梨県内の局舎

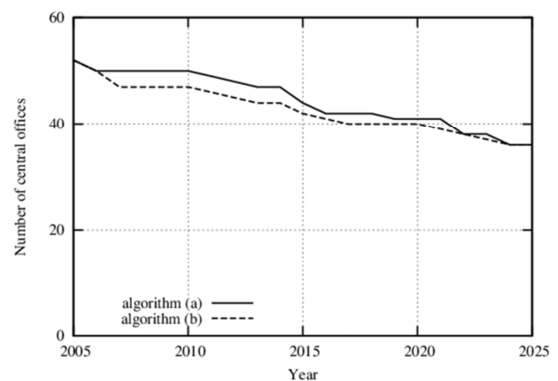


図 2 各時刻における最小開局数

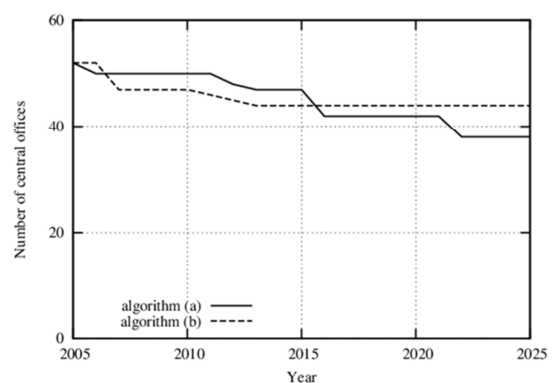


図 3 各手法による開局数の時間変化