

交通量配分ネットワークの集約デジタル道路地図へのマッチング*

Network Matching of a Traffic Assignment Network with an Aggregated Digital Road Map*

鷹尾和享**・朝倉康夫***

By Kazutaka TAKAO**・Yasuo ASAKURA***

1. はじめに

一般に、交通量配分用のネットワークは手作業で作成され、メンテナンスされている。交通量配分に必要なデータの典型例はリンクデータと、リンクの接続関係の情報であり、通常、正確な座標は必要ではない。そのかわりに、図示する場合の視覚的なわかりやすさや、メンテナンスのしやすさに重点が置かれている。その結果、多くの場合、座標があまり正確ではなく、あるいは、どの座標系にも合わせて作成されていない場合もある。その一方、近年では他のデータとのインテグレーションの必要性や、GIS や Web 上の地図サービスとの連携のため、正確な座標を得るニーズが増している。

交通量配分ネットワークに関するもう一つの問題は、データの維持・更新である。ネットワークデータを最新に保つ作業は継続的に必要であり、その労力の煩雑さは広く認識されている問題である。一つの解決方法として、筆者らは、年次更新されている最新のデジタル道路地図 (Digital Road Map, DRM) を集約して配分ネットワークを作成する研究に取り組んできた。しかし、その手法にはいくつかの問題点が残っている。一つは、たとえばセントロイドのように、データの中にはネットワークに関連づけられているものがあり、単純に DRM からの集約を行うだけでは実用的に使いづらいこと、もう一つは、DRM の集約を最初から繰り返す方法だと、年次の異なるネットワーク間のリンクの対応関係が失われることである。

そこで、筆者らは、配分ネットワークの DRM へのマッチングを行い、その正確な座標を得るとともに、両者の違いを分析することを試みた。本稿では、まず手始めに、簡単な問題から始めるため、集約後の DRM への 1:1 のノードのマッチングを行う。本稿の目的は、配分

ネットワークのノードを集約 DRM のノードにマッチングさせ、その正確な座標を得ることであるが、両者の違いを分析し、DRM からの配分ネットワーク生成の手がかりを知ることももう一つの目的である。

2. 関連研究

ある種のデータを地図上にマッチさせる研究はいくつも行われているが、それらは大きく 3 つに分類することができる。第 1 はネットワークデータ、あるいは異なる地図のマッチングであり、"network matching"あるいは"conflation"と呼ばれている^{2),3),4),5),6)}。第 2 は座標値を持った点列のマッチングであり、"map matching"と呼ばれる。第 3 は写真測量やリモートセンシングの分野で主に地図の更新を目的にイメージデータのマッチングを行うものであり、"change detection"と呼ばれる⁷⁾。

本稿の研究は 1 番目の network matching に位置付けることができる。この分野では、Saalfeld (1987)²⁾の、異なるエリアの地図を一つに合成するもの、Walter and Fritsch (1999)³⁾の、異なる出版元の DRM のマッチング、Xiong (2000)⁴⁾の、年次の異なる水路ネットワークのマッチングといった研究がなされているが、それらは、各当局によって作成された、比較的正確な地図同士のマッチングと言える。これに対し、倉田・岡部(2002)⁵⁾の研究は手書き地図のマッチングであり、あまり正確ではない地図を扱っていると言える。しかし、場所の特定にランドマークを活用できる点が本稿と異なっている。また、清水ら(1999)⁶⁾は古地図を扱っており、やはり正確ではないデータを扱うものと言えるが、彼らは面データの変換が主目的であり、点の位置特定は寺社等のランドマークを用いている。

3. マッチングの概略

(1) マッチングの方針

本稿では、配分ネットワークを、住友電工製の DRM⁸⁾を集約したネットワークへマッチングさせる方法について報告する。Walter and Fritsch (1999)³⁾が述べているように、たとえ同じ箇所でも、ネットワークの表現方法

* キーワード：交通ネットワーク分析、GIS、空間データインテグレーション、デジタル地図

** 正員 博士 (工)

(社) システム科学研究所 (〒 604-8223 京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428 新町アイエスビル TEL: 075-221-3022, FAX: 075-231-4404)

*** 正員 工博

神戸大学大学院 工学研究科 教授

は一通りではないため、マッチングは簡単ではない。

本稿の場合、次のような点が、ネットワーク表現の相違を生じる要因となる。第1に、配分ネットワークはある地図を参照して作業者が作成したものであり、いわば、手作業での集約と言える。したがって、Takao and Yasuda (2004)¹⁾の方法と集約方針の違いが生じうる。第2に、年次差のため、新たに作られたリンクの存在の有無に違いが生じうる。第3に、データ源の違いのためリンク属性に違いが生じうる。第4に、配分ネットワークは何人かの共同作業によって作成されており、担当エリア間で座標のずれの傾向が微妙に異なっている。

したがって、まず最初に、これらの違いを分析したうえで、データの特徴を知る必要がある。そのため、本稿では簡単な 1:1 マッチングから研究を始める。また、DRM は中央分離帯の有無によってリンクの表現がダブルリンクかシングルリンクかの点で異なっており、その結果、交差点表現も場所によって表現に違いがある。そこで、DRM の集約形をマッチ相手に用いれば、交差点は1ノード表現になるため、1:1 のマッチングを行うことができる。なお、配分ネットワークは何ら加工をせず、そのままの状態を用いた。

(2) DRM の集約

DRM の集約方法は Takao and Yasuda (2004)¹⁾で述べたが、その概略は以下の通りである。

- [1] 主要リンク選択 … DRM は非常に詳細であり、交通量配分に通常必要でないマイナーなリンクが多数含まれているため、道路種別等のリンク属性を手がかりに、主要なリンクの選択を行った。なお、配分ネットワークは作業者の判断により、たとえマイナーな種別であっても採り入れる場合があるのに対し、DRM の集約の場合は機械的に選択を行うため、違いが生じる要因となる。
- [2] 簡略形への変形 … 主要リンク選択だけでは、マイナーリンクとの交差点の痕跡でリンクが途切れ途切れになっており、また、ダブルリンクの問題のため交差点も1ノードとは限らない。したがって、これを単純な形に変形する。すなわち、交差点は必ず1ノード、リンクは全て双方向（一方通行規制のない場合）のシングルリンクという表現に変形する。

この結果、配分ネットワークと集約 DRM はほぼ同じ詳細さとなる。

(3) マッチング手順

前述のように、配分ネットワークと集約 DRM には相違点があるため、マッチングは注意深く行う必要がある。したがって、本稿では、相違点の許容度合いの異なるいくつかの判定ロジックを用意し、確からしいものか

ら順にマッチさせるようにした。判定ロジックとは、1組のノードペア（配分ネットワークのノードと、集約 DRM のノード）が与えられた時、それがマッチするかどうかを、ノードの特徴（接続リンクの一致状況；リンクの延びる方向の一致状況や道路種別・路線番号の一致状況）を参照して判定し、真偽値で返すものである。

図-1にマッチング手順を示す。マッチングは座標をラフに合わせた状態から開始され、所定距離制限以内の全てのペアがスキャンされる。判定ロジックのマッチ要件を満たした候補ペアは、一旦バッファに蓄えられ、ずれ距離の小さい順にマッチペアとして確定される。この時、同じノードを2度以上使わないようにした。最初のステージでは、最も厳しい判定ロジックが用いられ、最も確からしいペアを確定させる。後のステージでは、違いを幾分許容するロジックが使われ、あまり確からしくないペアを確定させる。

ループ毎にマッチペアが確定するので、その座標を用いて、その時点でまだマッチしていないノードの推定座標値を補正することができる。したがって、確からしいペアを確定させると、残りのノードの座標値も補正され、マッチ相手を探す作業が徐々に容易になってゆく。

- ・判定ロジックのループ（「ステージ」と呼ぶ）
 - ・マッチ対象ノードのループ
 - ・配分ネットワークからノードを1つ選ぶ
 - ・マッチ相手を探すループ
 - ・集約 DRM からノードを1つ選ぶ
 - ・判定ロジックで判定
 - ・候補ペアをバッファに貯める
 - ・マッチ候補を確定するループ
 - ・ずれ距離の小さいペアから取り出す
 - ・少なくとも一方が使用済みなら無視
 - ・マッチペアとして確定

図-1 マッチング手順

4. ネットワークの相違とマッチングのロジック

(1) 判定ロジックの概要

この章では、判定ロジックを具体的に述べ、相違点を許容する必要性について、例を示しながら説明する。本稿で用いた判定ロジックは表-1の通りである。判定を行うに際して参照した特徴は次の通りである。

- ・配分ネットワークのノードの各接続リンクについて、集約 DRM 側のノードに対応する接続リンクが存在するかどうかをスキャンする。対応するリンクかどうかは、以下の属性によって判定する。

道路種別 … 厳格な判定ロジックの場合は一致する

必要がある。厳格でないロジックの場合は違いを幾分許容する。

路線番号 … 厳格な判定ロジックの場合は一致する必要がある。厳格でないロジックの場合は、下位の種別については違っていても可とする。

角度 … 接続リンクの延びる方向はおおむね一致している必要がある。許容角度差はロジックの厳しさによって異なる。

- 上記の結果を集計し、余分なリンク（対応リンクが見つからないリンク）が存在するかどうか、また、対応相手の見つかったリンクが何本になるかを数える。
- ヒトが地図を見るのと同様に、主要な交差点は強い手がかりとなると考えた。「主要」とは、国道が接続するノードである。

表-1 判定ロジック

| 番号 | リンクの対応要件 | | 余分なリンクの存在 | 交差点 |
|-----|-----------|-----------------|-----------|-----|
| | 種別・路線番号 | 角度 | | |
| 1 | 厳格に一致 | $\leq 30^\circ$ | 不可 | 任意 |
| 2 | 厳格に一致 | $\leq 90^\circ$ | 不可 | 任意 |
| 3 | 厳格に一致 | $\leq 45^\circ$ | 可,4本対応 | 主要 |
| 4 | 厳格に一致 | $\leq 45^\circ$ | 可,3本対応 | 主要 |
| 5 | 厳格に一致 | $\leq 45^\circ$ | 可,3本対応 | 任意 |
| 6 | 国道未満は種別一致 | $\leq 45^\circ$ | 不可 | 主要 |
| 7 | 国道未満は種別一致 | $\leq 45^\circ$ | 可,3本対応 | 主要 |
| ... | ... | ... | ... | ... |

(2) リンク方向の違いの許容

ここでは、いくつかの例を示しながら、相違点について説明し、本稿のマッチングがなぜ難しいかについて解説する。

配分ネットワークは、ネットワークの形状をラフに示すため、作業者によって中間ノードが挿入されている場合がある。その一方、DRMの集約は機械的に行うため、中間ノードや補間点は除去される。その結果、接続リンクの延びる方向に大きな違いが生じる場合がある。したがって、リンク方向の違いを許容する判定ロジックを用意する必要がある。

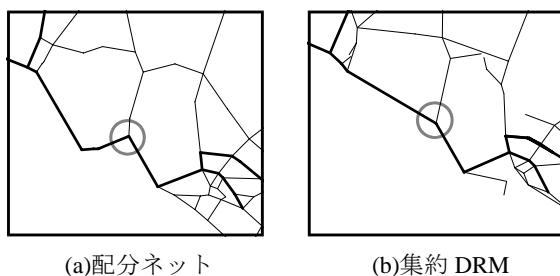


図-2 リンクの方向の違い

図-2に例を示す。グレーの○はマッチするノードのペアを示す。太線は国道、細線は下位の種別のリンクである。ノードから左方向に延びるリンクについて、配分ネットワークは中間ノードが存在するため左下に延びているのに対し、集約DRMは直接左上に延びている。

(3) 接続リンク数の違いの許容

接続リンクの本数についても、いくつかの理由で違いが生じる。第1は、集約における主要リンク選択の違いにより、マイナーなリンクが存在するか否かに違いが生じる場合がある。第2は、配分ネットワークはセントロイドを結ぶダミーリンクが所々に配置されているのに対し、集約DRMにはそれがない場合である。第3は、簡略形への変形の段階で、2つのノードを1つにまとめるか否かの相違である。図-3に例を示す。配分ネットワークは1つのノードに5本のリンクが接続しているのに対し、集約DRMでは2ノードに分かれている。

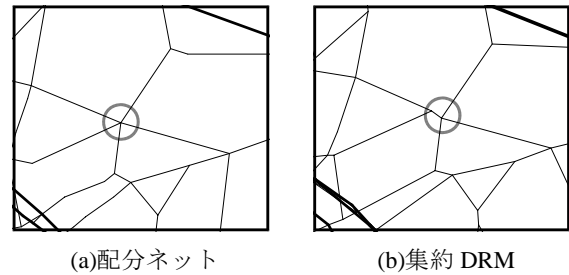


図-3 接続リンク数の違い

(4) その他の違いの許容

このほか、下記の点についても違いを許容する必要がある。

- 路線番号 … 指定市の一般市道は路線番号がないのに対し、配分ネットワークでは特定の番号が作業者によって付けられている。
- 道路種別 … 年次差によって、国道への昇格やその逆により、道路種別に違いが生じる場合がある。

5. エラー検出

判定ロジックによるマッチング結果が出た後、エラー検出を行った。それは、疑わしいマッチ結果を自動的に少数抽出し、それらが実際に誤りなのか、誤警告なのかを作業者の判断に委ねるものである。

用いた指標は次の通りである：任意の2つのノードについて、それらを直線で結んだ方向がマッチ前とマッチ後で大きく異なっていれば、そのどちらかが誤ってマッチした可能性がある。この指標はマッチ結果から自動的に計算することができ、学習データや統計的なデータは

必要としない。

手作業によるチェックの後、誤ってマッチしたノードは対象から除外し、再度マッチングを行った。

6. マッチング結果と評価

実際に、近畿圏の配分ネットワークのマッチングを行った。配分ネットワークは 10850 ノード、集約 DRM は 9840 ノードなので、両者はほぼ同じ詳細さである。

マッチングとエラー検出の結果、3903 ノードについてマッチ結果が出力され、2556 ノードについてマッチ相手が見つからなかった。接続リンク数が2本のノードは対象外とした。マッチ結果が出たノードについてランダムに 100 個抽出し、正しい相手にマッチしたかどうかをチェックした。表-2にその結果を示す。ほとんどの相手が正しく、非常に良い結果が得られた。

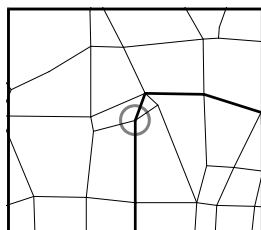
表-2 マッチしたノードの正確さ

| 区分 | 個数 |
|-----------|----|
| 正しい相手にマッチ | 99 |
| 誤った相手にマッチ | 1 |

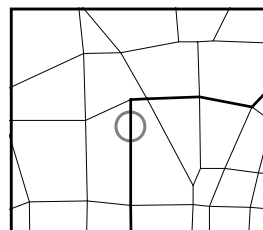
また、マッチ結果が出なかったノードからランダムに 100 個抽出し、その原因を分類した。表-3にその結果を示す。約 3/4 の 74 個はもともとマッチ相手が存在しない場合であり、マッチ結果が出なかったのは成功したケースである。たとえば、図-4の例では、主要リンク選択の違いのため、集約 DRM 側に横方向のリンクが存在せず、ノードができていない。

表-3 マッチしなかったノードの内訳

| 分類 | 個数 | 原因内訳 | 個数 |
|-------------|----|---------|----|
| マッチ相手が存在しない | 74 | 主要リンク選択 | 40 |
| | | 近畿圏外 | 28 |
| | | その他 | 6 |
| マッチングの失敗 | 26 | IC、ランプ | 13 |
| | | その他(のべ) | 18 |



(a)配分ネット



(b)集約 DRM

図-4 マッチ相手が存在しない例

一方、残りの 26 個はマッチングが失敗したケースである。その多くは、インターチェンジやランプと言った、表現が大きく異なる箇所である。

7. 結論

本稿では配分ネットワークの集約 DRM へのマッチングについて述べた。その成果は次のように要約される。

- 判定ロジックを用意し、詳細さがほぼ等しいネットワークデータの 1:1 マッチングを行った。
- ネットワーク表現の相違点について分析し、マッチングがなぜ簡単ではないかについて説明した。
- 好成績のマッチング結果が得られた。

本稿の結果を用いることで、配分ネットワークの正確な座標を得ることができ、他のデータとの関係が容易になる。

一方、残された問題は、場合によっては集約 DRM 側に該当相手が存在しないことであり、また、リンクの対応関係を得る必要があることも次の課題である。

参考文献

- Takao, K. and Yasuda, K.: Aggregation from digital road map to traffic assignment network, in Proceedings of the 11th World Congress on ITS, [¥pdf¥3037.pdf](#), 2004.
- Saalfeld, A.: Conflation: automated map compilation, Bureau of the Census Statistical Research Division Report Series, Census/SRD/RR-87/24, 1987.
- Walter, V. and Fritsch, D.: Matching spatial data sets: a statistical approach, International Journal of Geographical Information Science, 13(5), pp. 445-473, 1999.
- Xiong, D.: A three-stage computational approach to network matching, Transportation Research Part C, 8(1-6), pp. 71-89, 2000.
- 倉田陽平・岡部篤行: 道案内用略地図の精確な地図への同定アルゴリズム, GIS -理論と応用-, Vol.10, No.1, pp. 9-21, 2002.
- 清水英範・布施孝志・森地茂: 古地図の幾何補正に関する研究, 土木学会論文集, IV-44, No.625, pp. 89-98, 1999.
- Olsen, B.P.: Automatic change detection for validation of digital map databases, in Proceedings of Geo-Imagery Bridging Continents, XXth ISPRS Congress, Commission 2, p. 569 ff, 2004.
- 住友電工製 全国デジタル道路地図データ(DRM) 近畿地方福井県 2003 年度版 informatix.