

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

フローデータ分析のための入れ子格子 表現及びツールの開発

朴春子

(コンピュータサイエンス専攻)

指導教員 三末和男

2011年3月

概要

フローデータとは一つの場所からもう一つの場所への物の動きによって構成されるデータである。物の例としては人口、商品（食糧など）、パケット、情報、ウイルスなどがあげられる。これらは常に場所から場所へ移動して、大規模ネットワークを形成する。

フローデータの分析は、人口統計、輸送、経済学、医学、都市計画などの様々な分野で応用されている。しかしながら、大規模なデータから特定のパターンを分析し理解するのは難しいことである。データを可視化することで、ユーザへ分析に役立つ視覚的な手掛かりを与えることができる。

既存の可視化手法では、フローを線で表し、量を線の太さや色で表現することが一般的である。しかし、これらの手法はデータ規模が小さい時にのみ有用であり、規模が大きくなればなるほど線の交差が多くなり、図が混雑してしまう問題がある。

本研究では、このような問題を解決するために、フローデータに対する入れ子格子表現手法を開発した。本手法ではフローの出発点、終点、距離、向きなどの要素を把握できるように可視化している。

本手法を用いた大規模フローデータを一つの画面で描画し、さらにインタラクティブな操作を可能としたツールを開発した。ツールの描画図を見ることで、フローの出発点と終点をはっきりさせ、フローの全体的な分布を把握することができる。さらにインタラクティブな操作によって、詳細情報を把握することもでき、フローデータの分析における要求を満たす。ツールを利用することで、概観と詳細の両方の理解を容易にする。

本研究では、フローデータ分析の応用例として、環境問題分析に繋がる食糧移動データに着目し、本ツールを用いた環境分野専門家による食糧輸送データの分析ケーススタディを行った。この結果、本表現は概観をはっきり把握することができ、ツールのインタラクティブな操作によって詳細も把握できるという、本手法及びツールの有効性が明らかとなった。

目次

第 1 章	序論	6
1.1	フローデータとその分析	6
1.2	情報可視化及び分析	6
1.2.1	情報可視化	6
1.2.2	可視化によるデータの分析	6
1.3	既存の可視化手法及び問題点	7
1.3.1	フローデータ分析のための既存手法	7
1.3.2	問題点	7
1.4	本研究の目的	9
1.5	本研究の貢献	9
1.6	本論文の構成	9
第 2 章	対象データ及び分析の要求	10
2.1	対象データ	10
2.2	フローデータ分析における情報	10
2.2.1	分析においての得たい情報	10
2.2.2	分析における情報把握の特徴	11
2.3	分析のための要件	12
第 3 章	入れ子格子表現	13
3.1	アプローチ	13
3.2	Small multi-grid	13
3.2.1	Small multi-grid の基本的な考え方	13
3.2.2	Small multi-grid の視覚的表現	17
3.3	詳細情報把握のための可視化手法	20
第 4 章	フロー分析支援ツールの開発	22
4.1	ツールの設計	22
4.2	インタフェースの概要	23
4.2.1	メインパネル	24
4.2.2	スライダーパネル	25
4.2.3	表現手法選択パネル	25
4.3	Small multi-grid ツールの機能	26
4.3.1	概観把握ための機能	26
4.3.2	距離把握機能	29
4.3.3	詳細情報を把握するための操作	31
4.3.4	主なフローを把握するための操作	33
4.3.5	距離パターン把握するための機能	34
4.4	実装	34
第 5 章	ケーススタディと考察	35
5.1	入力データ	35
5.2	ケーススタディ	36

5.2.1	モデル 1	36
5.2.2	モデル 2	40
5.2.3	モデル間の比較分析	42
5.3	考察	44
第 6 章	関連研究と本研究の位置づけ	46
6.1	フロー分析支援に関する研究	46
6.2	入れ子格子表現手法に関する研究	47
6.3	Small Multiples 可視化に関する研究	47
6.4	本研究の位置づけ	48
第 7 章	結論と今後の課題	49
7.1	結論	49
7.2	今後の課題	49
	謝辞	50
	参考文献	51

図目次

図 1-1	フローデータの線を用いた描画例	8
図 3-1	3×3 のマトリクスを用いた例	14
図 3-2	各格子のマイクロフロー	15
図 3-3	マイクロフローの表し方	16
図 3-4	マイクロフローを埋め込んだマクロフロー	17
図 3-5	フロー量を色に表現	18
図 3-6	マクロ構造表現手法	18
図 3-7	マイクロ四角表現	19
図 3-8	マイクロ線表現	19
図 3-9	マクロ枠線表現	20
図 3-10	マクロ線表現	21
図 4-1	ツールの概観	23
図 4-2	メインパネルの概観	24
図 4-3	スライダーパネル	25
図 4-4	手法選択パネル	25
図 4-5	マイクロ四角表現の描画例	27
図 4-6	マイクロ線表現の描画例	28
図 4-7	フロー距離をマイクロ四角表現で描画した例	29
図 4-8	コピー操作	30
図 4-9	枠のハイライト表示	31
図 4-10	線のハイライト表示	32
図 4-11	フロー距離を描画	33
図 4-12	距離棒グラフ	34
図 5-1	対象データ領域地図	35
図 5-2	タイプ1の描画例	37
図 5-3	西安に着目したビュー	38
図 5-4	スライダーによる図の変化	39
図 5-5	タイプ2描画の例	40
図 5-6	沿海都市近隣に着目したビュー	41
図 5-7	モデル1の香港に着目した分析	42
図 5-8	モデル2の香港に着目したビュー	43
図 5-9	メッシュ間距離[8]	45
図 6-1	本研究の位置づけ	48

表目次

表 2-1	フローデータの生データ	10
表 4-1	要求とツールの機能の対応表	22
表 5-1	モデル1の入力データ	36

第1章 序論

1.1 フローデータとその分析

フローデータとは一つの場所からもう一つの場所への物の動きによって構成されるデータである。例えば、人口、商品（食糧など）、パケット、情報、ウイルスなどの移動情報から構成されるネットワークである。このような物の移動をフローと言う。物は頻繁に一つの場所からもう一つの場所へ移動するため、物の移動から構成されるフローデータは規模が大きい。例えば、食糧、人口などの動きで形成されたデータはサイズが数十万、数百万になる。

フローデータの分析は、人口統計、輸送、経済学、医学、都市計画などの様々な分野で応用されている。大量なフローデータから内在的特徴を分析するのは有用である。

1.2 情報可視化及び分析

大量のデータはそのままでは、複雑で分析が困難である。そのため、データ分析支援に情報可視化が有用であると考えられる。

1.2.1 情報可視化

大量のデータを分析してそのデータ固有の特徴や性質を明らかにしたいという要求がしばしばある。そのため、人間の理解を促進するために莫大な情報を視覚的に表現する情報可視化(Information Visualization)がある[1]。

情報可視化とは、人間が複雑なデータだけでは直接分析が難しいデータの構造などを画像、グラフ、表などに表現して、より見やすくする手法である。可視化することによって、人間はデータの特徴や性質を明らかにすることができる。様々なデータ構造について、様々な可視化表現が研究されている。その可視化表現を用いることによって、人間の認識能力を活用して、全体図を俯瞰することでデータの特徴が把握できる。

1.2.2 可視化によるデータの分析

大量のデータから特定のパターンを分析して、理解するのはかなりの難しさがある。これに対し、可視化図は、人間が複雑なデータの分析をスムーズに行えるようにサポートすることができる。したがって、フローデータ分析のためにも可視化が重要な支援手段となると考えられる。

1.3 既存の可視化手法及び問題点

1.3.1 フローデータ分析のための既存手法

フローデータ分析を支援する目的に対して、既存研究では地図上の線でフローを表現し、線の太さ、色などでフローの量を表して、主なフローの把握ができるようにした [2][3][4]。このように、地図上でフローを描画した図をフローマップを言う。フローデータはフローが一つのパスになり、始点と終点はノードになるフローネットワークを形成する。フローネットワークはグラフで表現することができる。これまでの可視化手法は、ネットワークのパスを一般的には線で表し、フローの量を線の太さ或いは色で表現する。しかし、規模が大きくなればなるほど線の交差が多くなり、線で混雑して読み取りづらくなる問題点がある。数千を超えるフローデータのフローマップは複雑になり、パターンなどの分析がうまくできない制限があり、データ規模が小さいときにのみ有用である。

図の混雑性を減少するために多くの研究が行われてきた。フローを木の形にして、複数のパスが一つのパスを共有する可視化方法がある[5][6]。また、描画した線を抽出する方法や、一部分のフローだけ表示する方法などが採用されている。しかし、これでは概観の把握ができなくなる。

また混雑性を下げる表現技術として、滑らかな曲線で描画するとか、線の色で向きを表すなどの描画手法を選択している。しかしながら、図の混雑性を減少させる課題がまだ残っている。

1.3.2 問題点

フローデータは物の移動から構成させているので、物は地理的位置を持っているという特徴がある。物の地理的位置は経度、緯度によって決められる。このように、地理的位置をもつフローを地理的情報を持つフローデータとする。物の地理的情報を2次元のマップに表す時、X軸とY軸による座標で表すことができる。

地理的情報をもつフローデータを地図上でフローを線で描画すると図 1-1 のようになる。この例は、描画したデータは食糧の移動データであり、83207 のパスをもっている。フローの向きは青、緑、赤の色の变化で表している。青が始点になり、赤が終点になる。図 1-1 で赤い所がインプットする所である。フローの量は線の太さで対応して表し、線が太い方が量が多いことを表している。

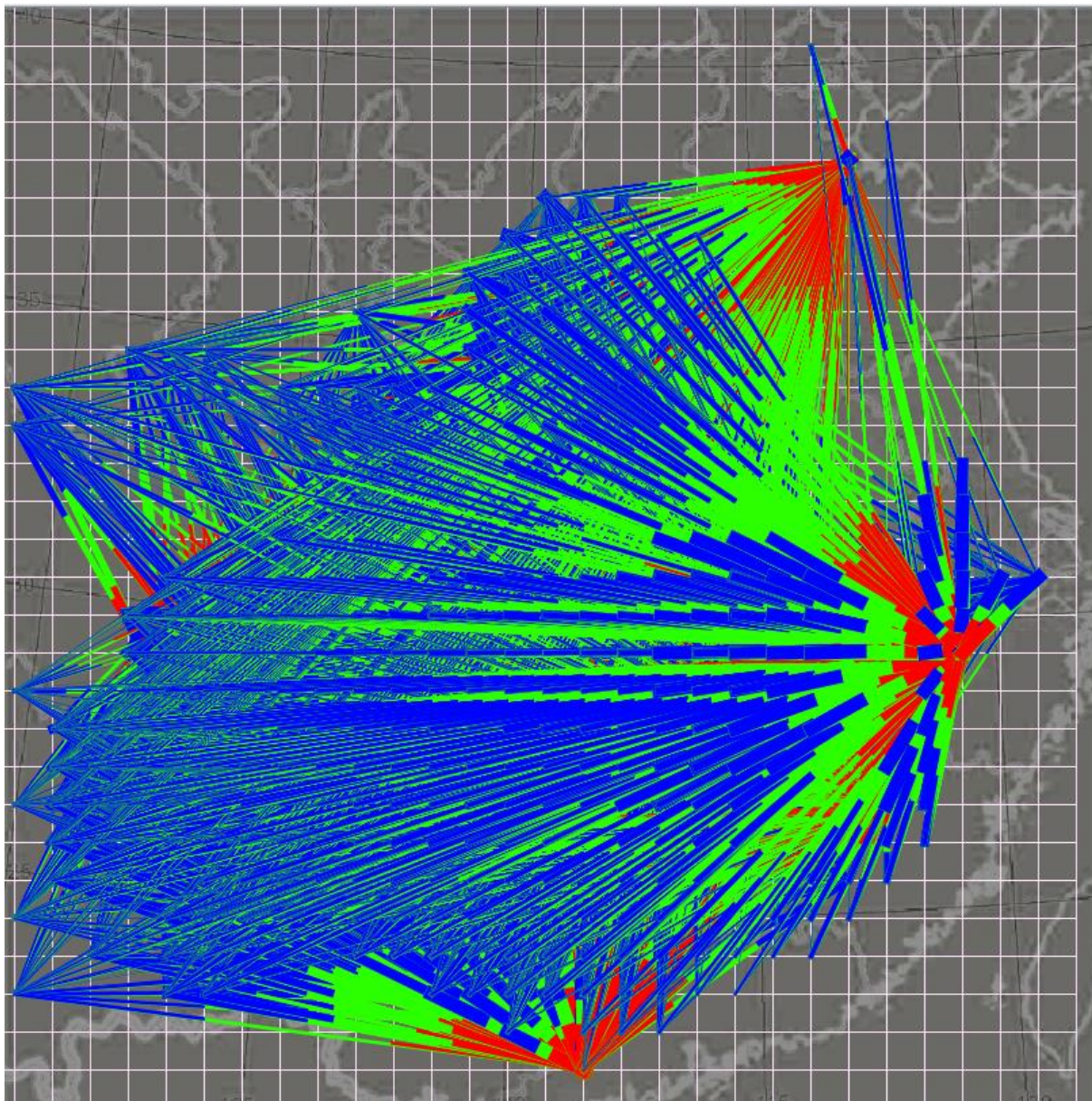


図 1-1 フローデータの線を用いた描画例

大規模フローデータに対して、図1-1のような可視化手法を適用した場合、以下の問題点が発生する。

1. 画面が視覚的に線で混雑し、情報が読み取りにくい[3]。
2. 線の太さにより、重なっているフロー情報が見えない。

1.4 本研究の目的

本研究ではフローデータ分析を支援することを目的とし、大規模フローデータを視覚的に表現する手法を開発する。これを実現するために、視覚的分析においてデータの概観と詳細を両方把握できるようにする。このアプローチとして、大規模フローデータの概観を把握できる可視化手法を開発する。この可視化手法はフローデータ各属性が一つの図で可視化され、全体の特徴が把握できるようにする。全体図で把握した特徴によって、特徴がある所の詳細分析を自由に行うように、インタラクティブ操作機能を備えたツールを開発する。

1.5 本研究の貢献

本究の貢献は、大規模フローデータの概観と詳細が両方把握できる視覚的分析支援ツールを開発したことである。可視化手法として、地理的情報をもつフローデータに対して、その特性を有効化する入れ子格子表現手法を開発した。本手法は、大規模フローデータの描画において、既存手法で問題となる線の交差を避けることによって、図の混雑を解消できる描画手法を開発した。

また、ツールは詳細分析を行うための、インタラクティブ操作を開発した。可視化手法と操作を用いたツールを開発することで、分析者は全体的なパターンと詳細のパターンの両方を分析することができ、効率よく分析を行うことができるようにした。

1.6 本論文の構成

第2章では、対象とするフローデータ、分析における要求を述べる。第3章では、本研究で開発した表現手法を紹介する。第4章では、第2章で述べた要求を満たすために開発した可視化手法と分析支援ツールの機能について述べる。第5章では、ケーススタディを通じて開発したツールの有用性を示す。第6章では、関連研究と本研究の位置づけについて述べる。第7章では、本研究の結論と今後の課題について述べる。

第2章 対象データ及び分析の要求

本章では、まず第 2.1 節で対象データを紹介した上で、次に第 2.2 節では可視化すべき要素とフローデータ分析に必要な情報をまとめる。最後に、第 2.3 節ではフローデータ分析に必要な情報を説明した上で、分析のための要求を挙げる。

2.1 対象データ

フローは物の動きを表している。フローデータは物の動きによって構成されるデータである。本研究では地理的情報をもつ物の移動から構成されたデータを対象とする。例えば、A 所から B 所に物が移動する時、A は始点になり B は終点になる。

表 2-1 は、フローデータの例である。ここで、始点と終点の位置を 2 次元座標で表している。

表 2-1 フローデータの生データ

始点		終点		量
Out x	Out y	In x	In y	フロー量
1	10	2	22	47
4	19	2	22	12
16	17	17	7	40
...	...	...	...	...

表 2-1 のようにフローは以下の属性を持っている。

- ❖ 始点と終点の位置
- ❖ 向き
- ❖ 量

2.2 フローデータ分析における情報

2.2.1 分析においての得たい情報

1. フローの始点と終点の全体分布を明らかにする必要がある[7][8]。

これによって物がどこからどこへ移動するかを分析することができ、フローの概観を把握することができる。例えば、人口移動では、始点と終点を可視化することで、人口移動の傾向が把握でき、都市計画などに有用な参考情報になる。

2. フローデータではフローの量を可視化する必要がある[7][8]。

例えば、商品の移動では、フローの量により交通に負担が掛ける。フロー量を可視化することで、量が多いフロー、フローの量の分布などが把握でき、交通に負担が掛っている所を見つけることができる。交通に掛ける負担によるエネルギー浪費をできるだけ減少するのは非常に重要である。

3. 距離を可視化する必要がある[3][7]。

例えば、商品の移動では、距離が遠いほどエネルギー浪費が多い。フローの距離を可視化することで、遠い所へのフローが発見できる。距離が遠くで量が多いフローはよくないパターンになり、消費量に対する食糧が近い所から移動するとエネルギー浪費が少ないので、地産地消のケースとなり、最も理想的なパターンになると考えられる。

2.2.2 分析における情報把握の特徴

可視化におけるプロセスとは、まず全体を概観し、ズームングやフィルタリングを行い、さらに必要に応じて詳細に分析することが一般的とされている[9]。

マクロパターンの分析

マクロパターンはデータを全体として見た時に、そのデータを可視化することで現れる傾向である。可視化の概観を見ることによって、マクロパターンを把握するのは重要である [3][5]。例えば、人口移動フローではどのエリアからどのエリアまでの移動が多いかを把握する必要がある。

ミクロパターンの分析

ミクロパターンはある部分のデータを見た時、そのデータを可視化することで現れる傾向である。特徴がある部分のミクロ情報を把握することが必要な場面がある。例えば、食糧移動では、食糧が大量に集まっている所に対して、どここの食糧を食べているかを把握する必要がある。この分析を通じて、無駄な食糧移動などを見つけることができる。

2.3 分析のための要件

本研究ではフロー分析支援ツールを開発するにあたり、ツールの要件として2.1.1の3つと2.1.2の分析の2つを満足させることを要件とした。要件は以下のようになる。

1. フローの出発点と終点の全体分布を表現する。
2. フローの持つ量の情報を表現する。
3. 距離を表現する。
4. マクロパターンの分析を支援する。
5. ミクロパターンの分析を支援する。

フローデータの分析においても、まず全体を概観しながらマクロパターンを把握し、次に得られた情報から詳細情報の分析を行うことができるようなインタラクティブな操作が必要である。

第3章 入れ子格子表現

本章では第 1.3.2 節で挙げた問題点を解決しながら第 2.3 節で挙げた要件を満たすために開発した可視化手法について述べる。まずアプローチを説明し、次に Small multi-grid の基本的な考え方について詳しく述べる。最後に、Small multi-grid 視覚的表現手法について述べる。

3.1 アプローチ

既存のネットワークグラフの描画手法はパスを線を用いて描画している。これにより、線の交差が多くなり図が混雑する。本研究では、この問題を解決するために、パスを表現する他の可視化手法がないかを考え、線の代わりに地理的な関係で表すようにした。

本研究では、マクロとミクロの観点から可視化手法を設計した。マクロ観点では、各ノード間の地理的位置を、地図上に描画したマトリクスで表した。各ノードはマトリクスの一つ格子に配置させた。ミクロ観点では、各ノードにフロー構造を持たせ、その構造を一つの図で表した。各ノードのフロー図を Small multiples 可視化表現を使用して、地理的位置に埋め込んだ Small multi-grid 手法を提案した。

3.2 Small multi-grid

空間情報は二次元の座標で表されることが多い。Stephan らはラジアル可視化と二次元格子の可視化表現について調査を行い、その結果から二次元格子表現の方が人間にとって、位置把握が簡単であると言うことを示した[18]。そのため、本研究ではデータの空間情報を格子に割り当てる可視化手法を採用した。

3.2.1 Small multi-grid の基本的な考え方

Small multi-grid 可視化手法について、 3×3 のマトリクスを例として図 3-1 を用いて説明する。図 3-1 のようにマトリクスは 9 個格子を含んでおり、格子ともう一つの格子の間にフローが存在するものとする。また、各フローは方向と量を持っているものとする。

ここで、各格子の位置を 2 次元座標で表現する。図の一番左下の格子を(1,1)とし、右に行くにつれ(2,1)(3,1)、上に行くにつれ(1,2)(1,3)のように座標を割り当てる。

本手法では、フローデータをマクロ構造とミクロ構造に分けて表現する。マクロ構造は各格子の関係であり、各格子の地理的關係を用いて表現する。ミクロ構造はある格子と始点あるいは終点があるフローである。例の場合、 $3 \times 3 = 9$ 個のミクロ構造を持っている。

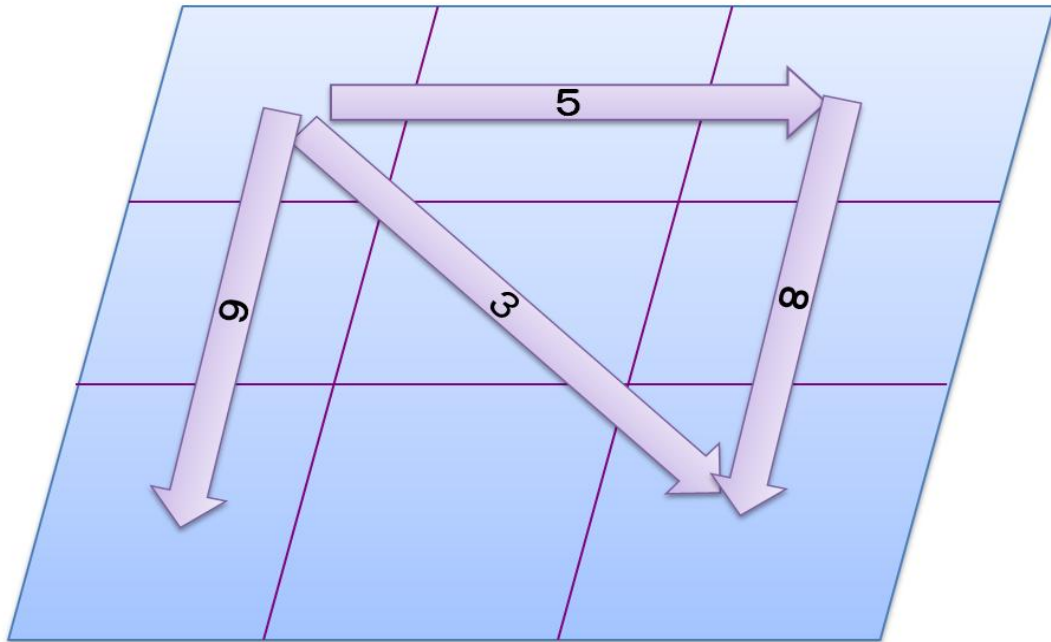


図 3-1 3×3 のマトリクスを用いた例

本研究では一つの座標から出発するフローと、この座標に入るフローのグループをマイクロフローとする。図 3-1 は図 3-2 のように各格子ごとのマイクロフローに分けることができる。出発するフローがない格子については省略する。

マイクロフローでは、各格子を始点とするフローと終点にするフローだけを抽出して 3×3 マトリクス上で表現すると、図 3-2 のように座標(1,1)、(1,3)、(3,1)、(3,3)のマイクロフローに分けることができる。

図 3-2 の各マイクロフローの地理的位置関係をマクロ構造とする。これは地図全体における各格子の位置関係の構造を表現している。

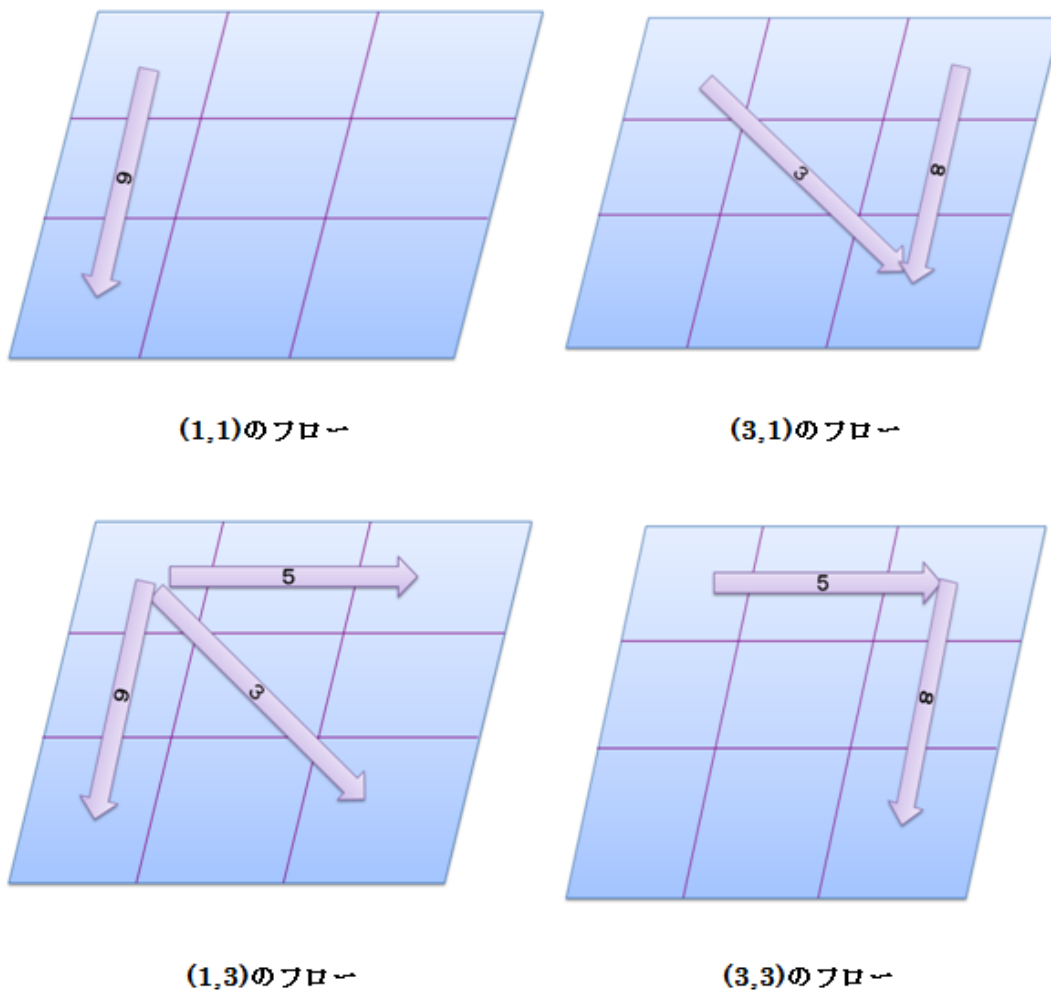


図 3-2 各格子のマイクロフロー

図 3-2 の各格子についてのマイクロフローを割り当てる方法について述べる。図 3-2 の座標 (1,1)を見ると、(1,3)から(1,1)へのフローがある。このフロー表現として、(1,3)にフローの量の数値 6 を記録する。マイクロフローの量の数値を記録する時、入るフロー（終点とするフロー）は正の数で表し、出て行くフロー（始点とするフロー）は負の数で表す。

別の例として、図 3-3 の座標(3,3)を見る。フロー量が 5 のフローは(1,3)から(3,3)に入るので、(1,3)格子のところに 5 を記録する。フロー量が 8 のフローは(3,3)から(3,1)に出るので、(3,1)格子に-8 を記録する。

以上の手順で、図 3-2 の各格子のフローを割り当てた結果が図 3-3 である。

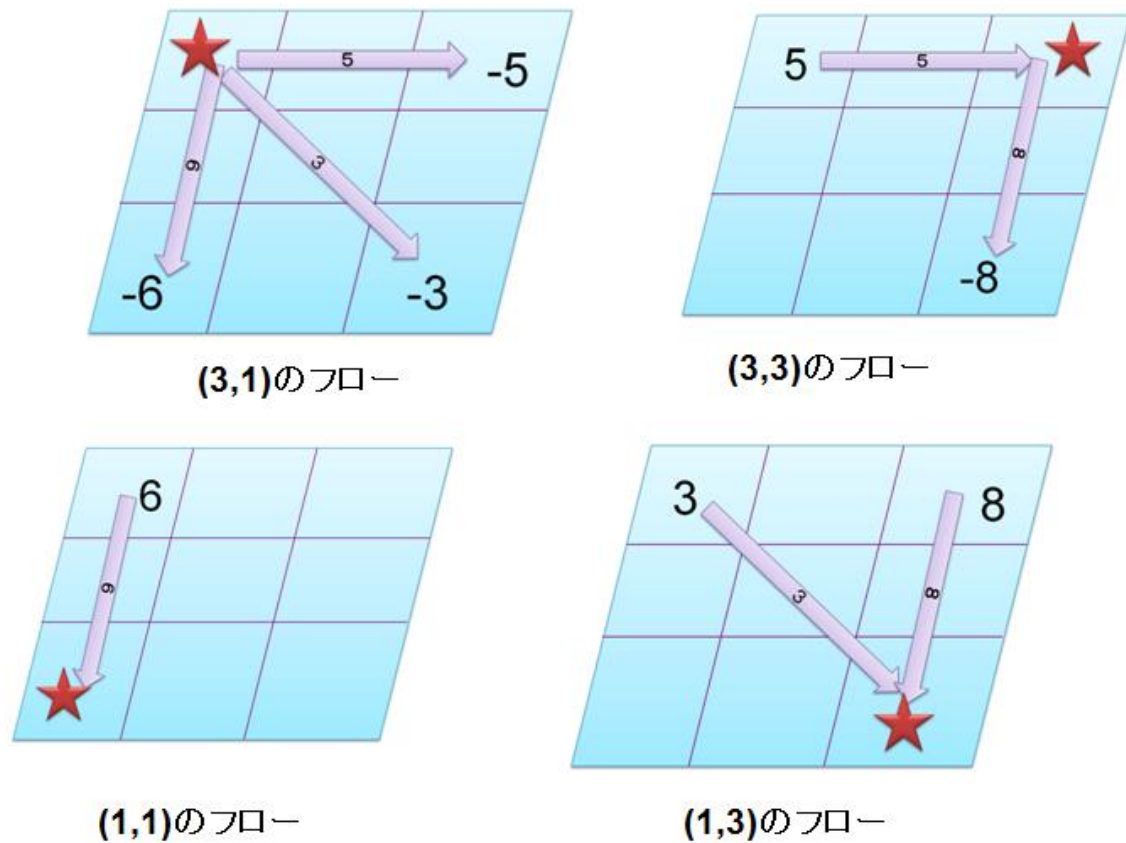
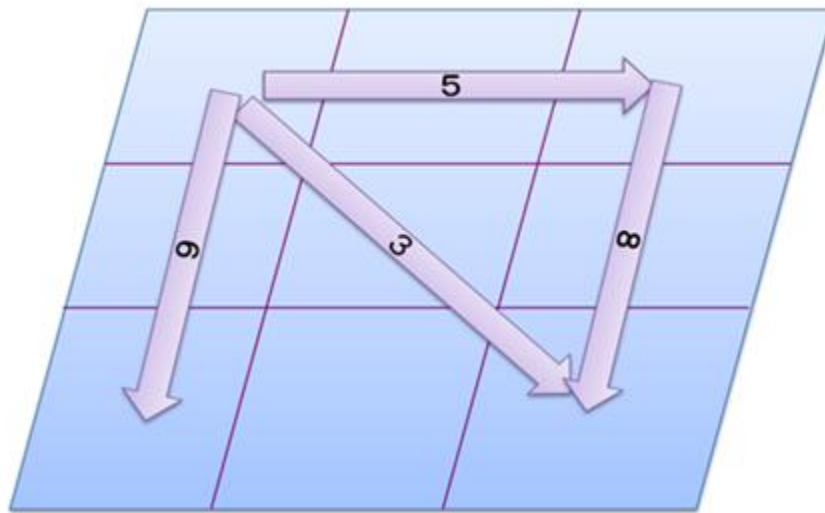


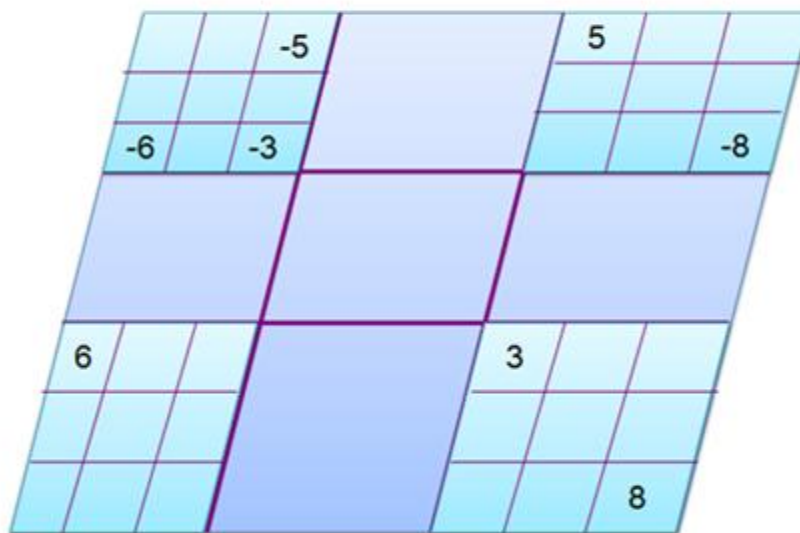
図 3-3 ミクロフローの表し方

計算したミクロフローを図 3-4 の A に埋め込むと図 3-4 の B のようになる。ミクロフローのマトリクス構造をミクロマトリクスと言い、その格子はミクロ格子と言う。ここでは、マクロ格子に各ミクロマトリクスを対応する格子に埋め込んだ。図 3-4 の B ように最終的には、 $(3 \times 3) \times (3 \times 3)$ のマトリクスを得る。

一つ一つのマクロ格子に各ミクロマトリクスが入っている。さらに、ミクロマトリクスを拡大すると、その格子のミクロフローを表している。



A



B

図 3-4 ミクロフローを埋め込んだマクロフロー

3.2.2 Small multi-grid の視覚的表現

第 3.2.1 で得られた図 3-4 のような 9×9 マトリクスに記録された数値を可視化要素で表現する。

まず各格子の正の数は赤色で表現し、負の数は緑色で表現する。さらに、格子の値の大きさを色の彩度に対応させる。図 3-6 のようにフロー量が少ないほど彩度の低い色を用い、フローの量がほど彩度の高い色を用いるため、量の多いフローが目立つようにしている。



図 3-5 フロー量を色に表現

マクロ構造表現としてはマクロマトリクス枠を線で描画した。これは、各格子の位置関係を把握する手掛かりとしてユーザに使用されると考える。

		-5				5		
-6		-3						-8
6						3		8

図 3-6 マクロ構造表現手法

ミクロ構造表現として、以下の二つのミクロマトリクス可視化表現を開発した。

1. ミクロ四角表現

ミクロ四角表現では、図 3-6 のようにミクロマトリクス中で数値がある格子を対応する色で描画する。この手法によってフローが密集している部分が全体的に目立つ効果が期待される。フローの出力エリアと入力エリアの概観把握が期待される。

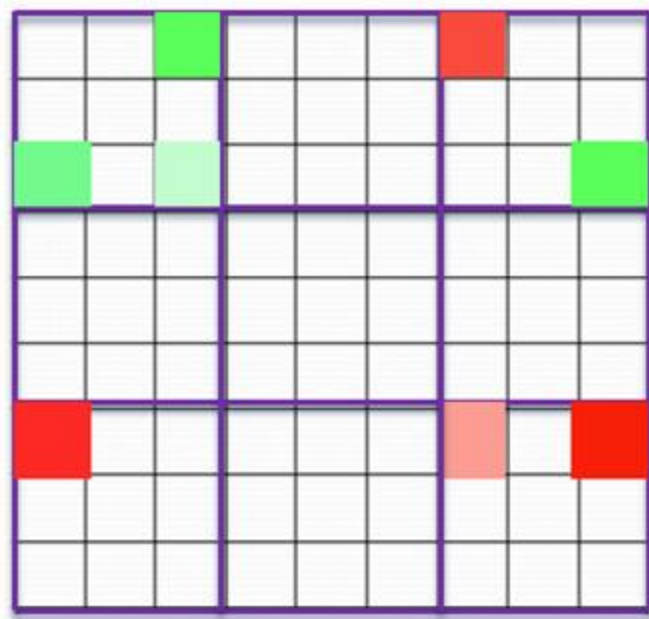


図 3-7 ミクロ四角表現

2. ミクロ線表現

ミクロ線表現では図 3-8 のようにミクロマトリクス中で対応格子の中心とフローがある格子の中心を線で繋いで描画する。ミクロ線表現では、重なるフローが少ないため直観性がある線の表現を採用した。

ミクロ線表現手法は、各格子の傾向分析に有用になると考えられる

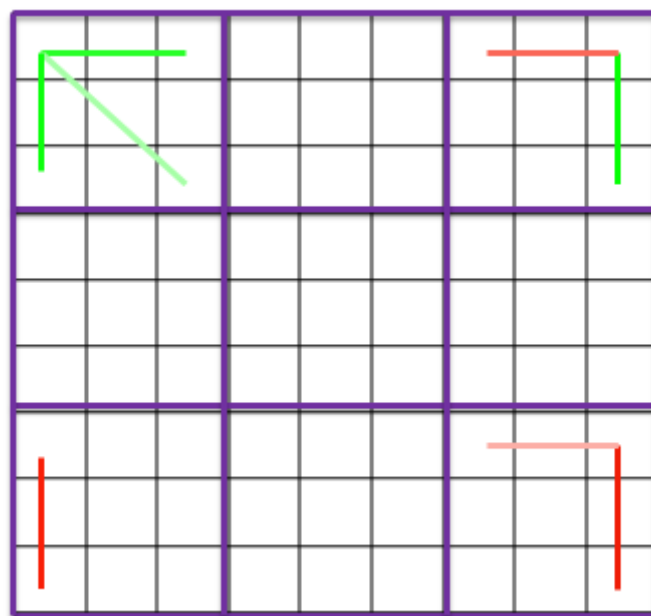


図 3-8 ミクロ線表現

3.3 詳細情報把握のための可視化手法

可視化を用いた分析では、まず全体を概観する必要があり、全体を把握した上で特徴がある所、ユーザが興味を持っている所の詳細情報を把握することも重要である。そこで、本研究では詳細情報、すなわち注目部分を分かりやすく表示する可視化手法として、マクロ格子に描画する以下の2つの手法を採用した。

1. マクロ枠線表現

図3-9のように、ある格子に着目した時、着目した格子とフローがある格子の枠を描画する。着目した格子から出る格子は青枠で、着目した所に入る所はピンクの枠で描画する。さらに、フロー量を色の彩度に対応させるようにした。

マクロ枠線手法によって、概観を保存した上で、着目した部分のフローの両方を把握できる効果が期待できる。また、2次元座標によってフローの距離が把握できるという特徴がある。加えて、色の彩度と地理的距離によって、遠くて量が多いフローが発見できると考えられる。

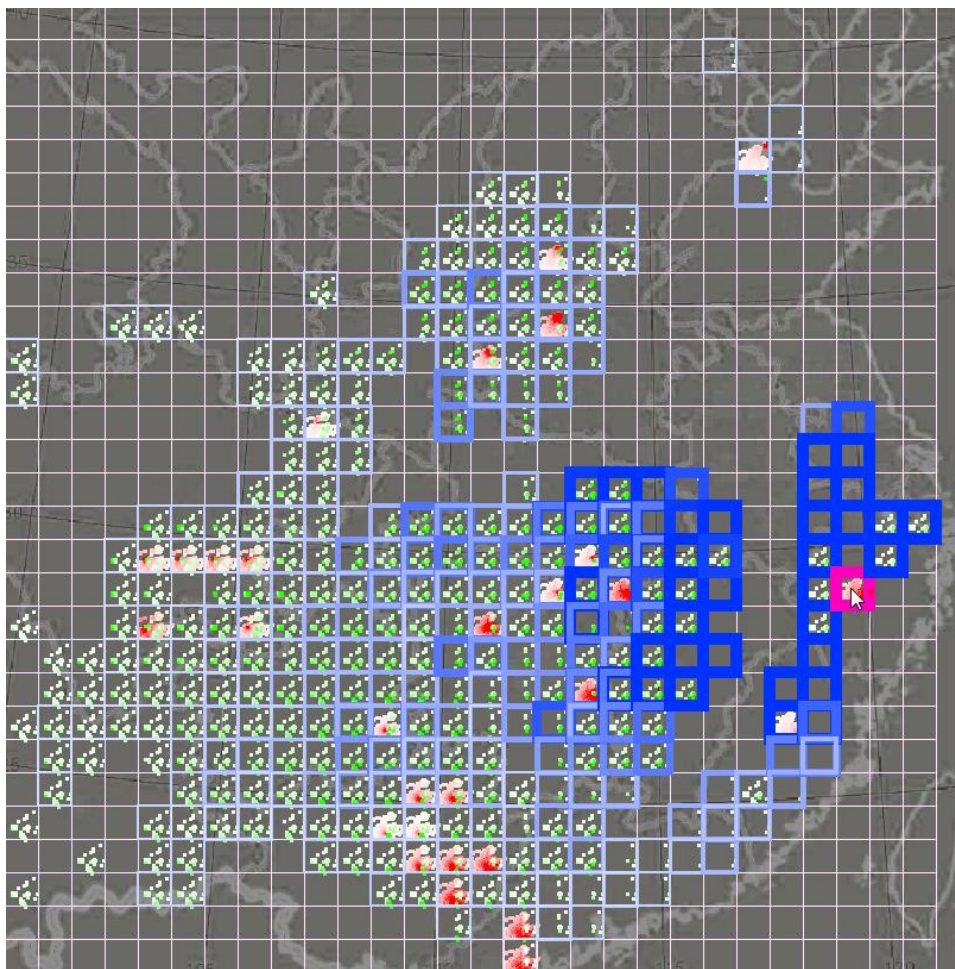


図 3-9 マクロ枠線表現

2. マクロ線表現

図 3-10 のようにある格子に着目した時、着目したところとフローがある格子を線で繋いで描画し、着目した格子から出る所は青枠で、着目した所に入る所はピンク枠で描画する。また、フローの量を色の彩度に対応させ、量を視覚的に表現する。彩度の高い線は量が多いフローを表す。このため、量が多いほどユーザーに目立つ効果がある。

線で描画する手法の特徴は、どこからどこに移動しているかを直感的に把握することができる点である。線の長さでフローの距離を把握することができ、色によって量を把握することができるため、分析に必要な手掛かりを発見することが期待できる。

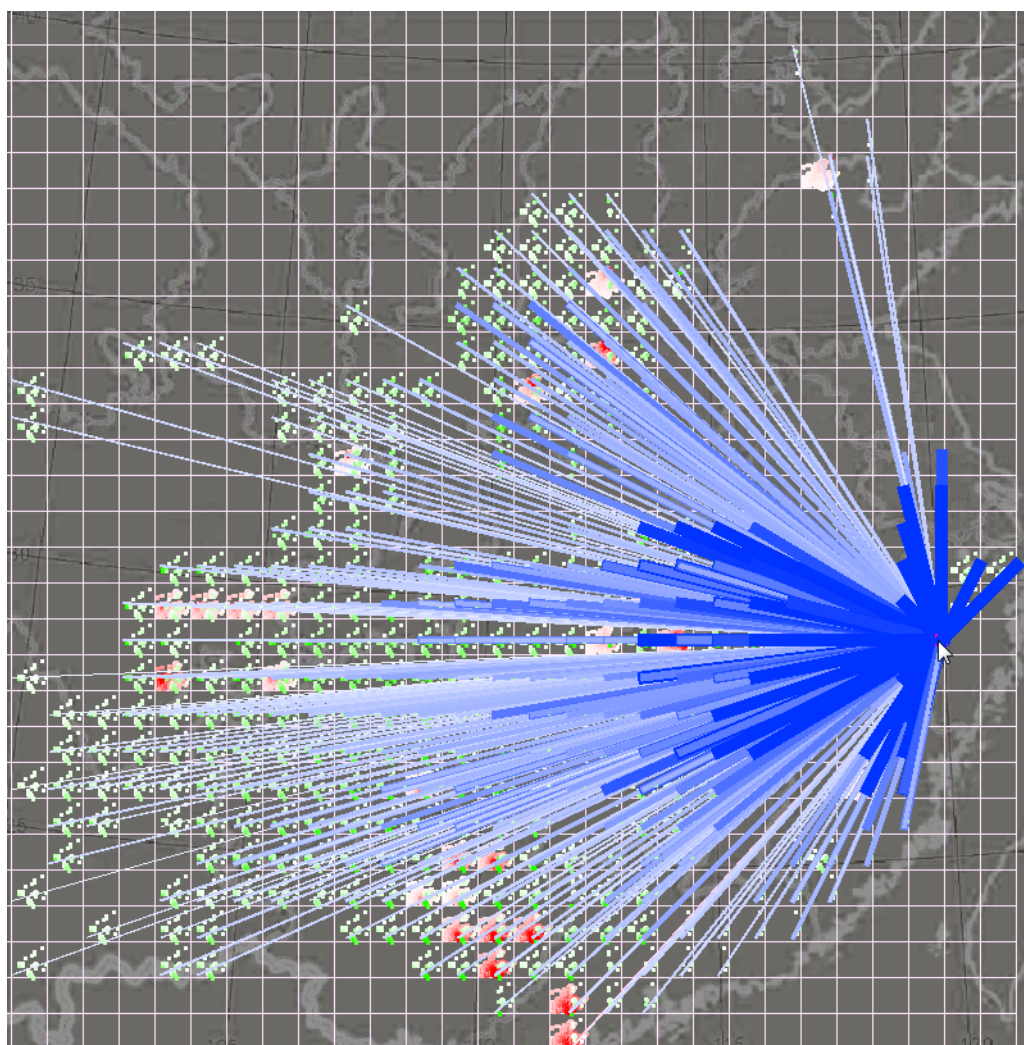


図 3-10 マクロ線表現

第4章 フロー分析支援ツールの開発

本章では、第3章で述べた Small multi-grid 可視化手法に基づいて、他のいくつかの可視化手法とインタラクティブな操作を備えた分析支援ツール「SMGVis」について述べる。まず、ツールの設計について説明する。次に、第2章で述べた要求を満たすための機能について説明する。最後に、ツールの実装と入力データについて述べる。

4.1 ツールの設計

フローデータ分析に対し、視覚的な混雑のない良い操作性を備える可視化ツールの構築を目指し、設計を行った。特に全体図の混雑性を減少することに注力した。このためには、第2章で述べた要求を満たす必要がある。要求と「SMGVis」ツールの備える特徴・機能は表4-1のように対応している。

表 4-1 要求とツールの機能の対応表

分析における要求	ツールでの対応
概観把握	データ全部を描画
詳細情報把握	着目したところを選択・強調
主なフロー把握	量の値を選択
距離把握	距離要素のハイライト

地図とフロー描画図の統合

フローデータのほとんどが空間的情報を持つため、地理的エリアとの関係を読み取ることが重要である。SMGVis では入れ子格子表現によって描画する図と地図を重ねて提示した。このように各地点のフローと空間情報の両方を見えるようにすることで、直観的に特徴があるエリアの把握をできるようにした。

既存の可視化手法との統合

詳細情報の距離把握要求に対して、フローの距離と量の傾向を見えるように、データの比較を行う最も基本的な表現の一つで棒グラフ表現を選択した。

4.2 インタフェースの概要

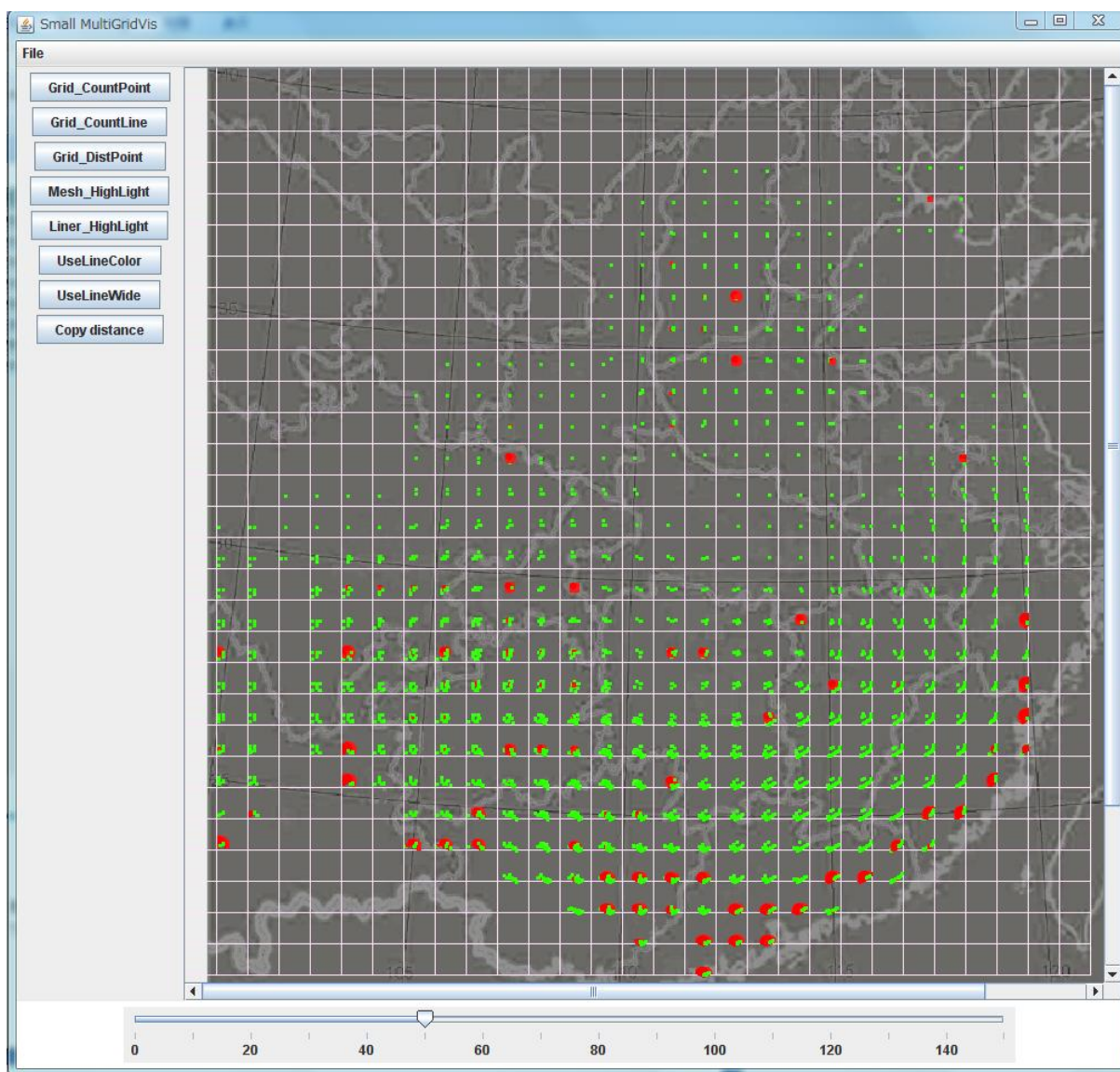


図 4-1 ツールの概観

図4-1はSMGVisのスクリーンショットである。本ツールは画面中央にメインパネル、画面左側と下に配置されているサブパネルから構成される。メインパネルはフローデータに関する全部の情報の描画した図と地図を統合したパネルであり、ユーザは主にメインパネルで操作を行う。メインパネルの左側のパネルにはフローデータの可視化手法を選択する手法選択パネルを、メインパネルの下パネルにはフローの量の選択及び操作を行うスライダが備えている。

4.2.1 メインパネル

メインパネルでは地図を背景とし、開発した入れ子格子表現でデータを描画した図を重ねて提示する(図4-2)。

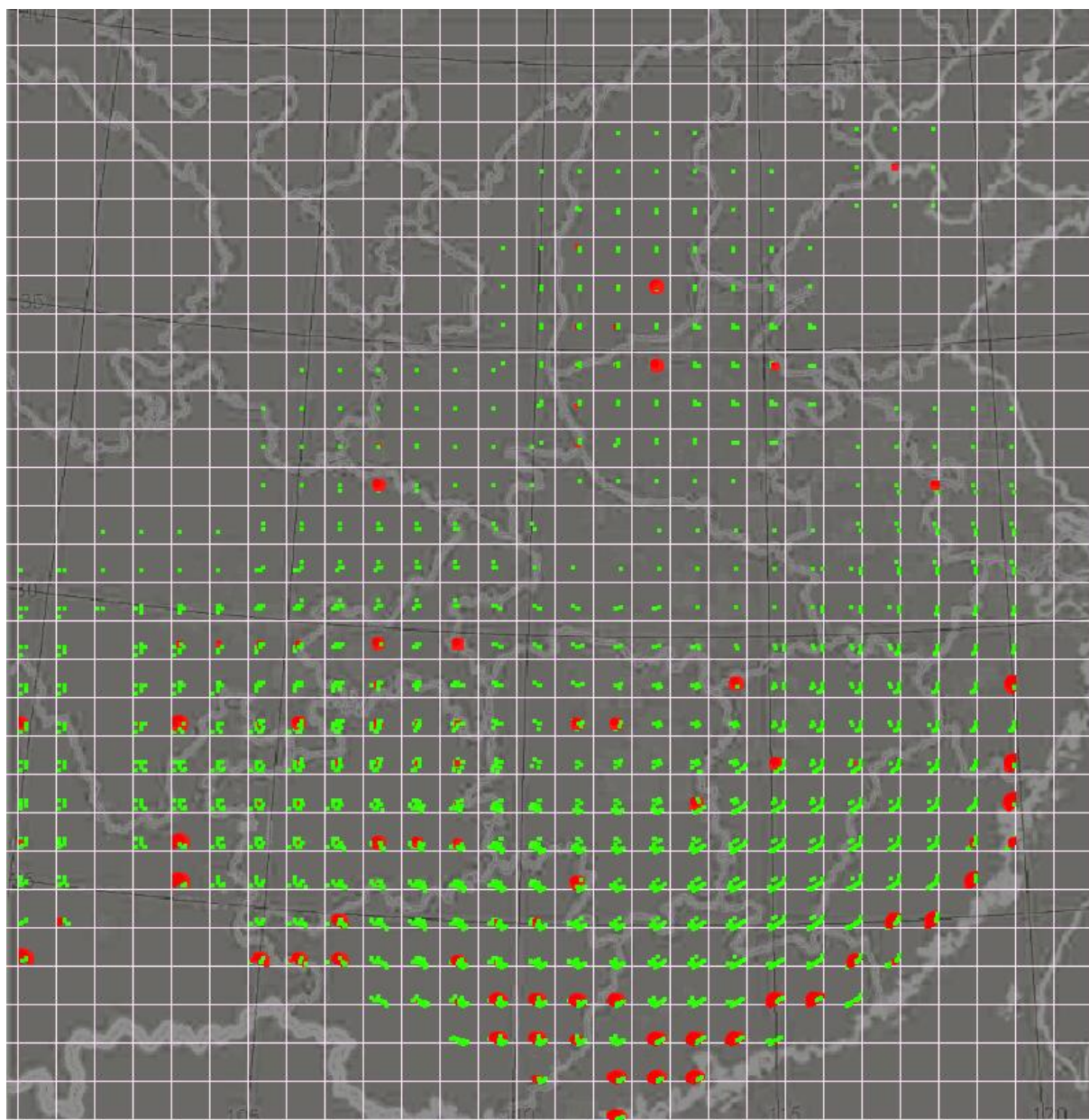


図 4-2 メインパネルの概観

4.2.2 スライダーパネル

スライダーパネルは、メインパネルに着目した地点のフローをハイライトする時、描画するフローの量に対して、最小の値を設定するパネルである(図 4-3)。メインパネルで注目した格子のフローをハイライトする時に、スライダーで選択した値によってハイライトするデータのフィルタリングを行う。「0」を選択すると、全てのフローが描画し、「0」以外の値を選択すると、選択した値より大きいフローだけが図にハイライトするようにする。これにより、注目した格子のフローの量の変化と量が多いフローの分布が把握できる。



図 4-3 スライダーパネル

4.2.3 表現手法選択パネル

手法選択パネルは、メインパネルに描画される情報の可視化手法を切り替える機能を提供する(図 4-4)。ユーザはこのパネルを操作することで、可視化手法を切り替えて分析を行うことができる。

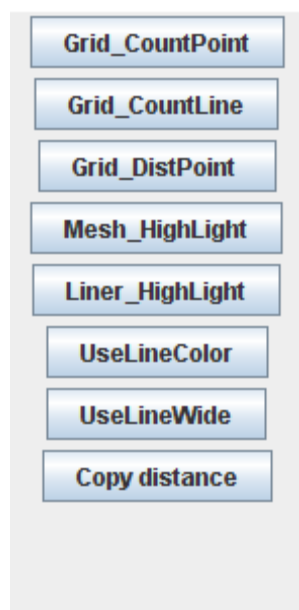


図 4-4 手法選択パネル

Grid_CountPoint ボタンは出る格子には緑色、入る格子には赤色の彩度にフロー量を対応させて、「ミクロ四角表現」手法を用いて全てのデータを描画する。

Grid_CountLine ボタンは出る格子には緑色、入る格子には赤色の彩度にフロー量を対応させて、「マイクロ線表現」手法で全てのデータを描画する。

Grid_DisPoint ボタンは出る格子には青色、入る格子には紫色の彩度にフロー距離を対応させて、「マイクロ四角表現」手法で全てのデータを描画する。

Mesh_HighLight ボタンは「マイクロ四角表現」手法で全てのデータを描画した図の上に対して、「マクロ枠線表現」手法を用いて注目した格子のフローをハイライトする。

Liner_HighLight ボタンは「マイクロ四角表現」手法で全てのデータを描画した図の上に対して、「マクロ線表現」手法を用いて注目した格子のフローをハイライトする。

UseLineColor ボタンは、フローを線で、フローの向きを色によって表現する。青は始点になり、赤は終点になる。

UseLineWide ボタンは フローを線で表現し、フローの向きを色によって表現し、フローの量を線の太さで表現する。青は始点になり、赤は終点になる。

Copy distance ボタンは量の「マイクロ四角表現」で描画した図の上で、注目した格子の距離の「マイクロ四角表現」格子図をコピーして右の格子に表現する。

4.3 Small multi-grid ツールの機能

本ツールにおける主な操作は、地点の選択とフロー値の選択と可視化手法の選択である。スムーズなデータ分析を支援するためにいくつかの機能を備えている。

4.3.1 概観把握ための機能

本ツールでは、概観を把握するために 3.3 で述べたマイクロ四角表現とマイクロ線表現によってデータを表現する。これらの可視化表現は、手法選択パネルから選択する。

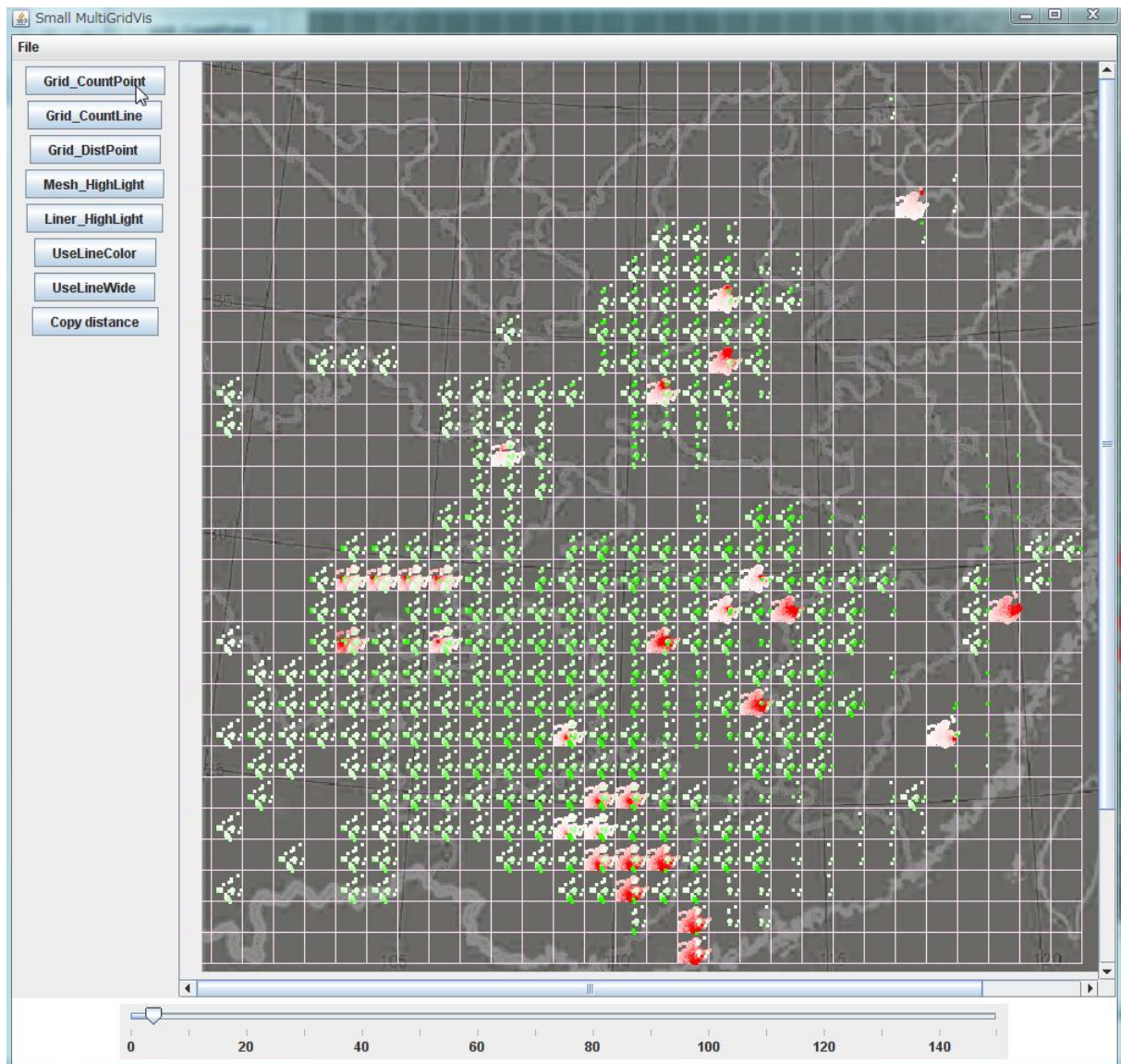


図 4-5 ミクロ四角表現の描画例

図 4-5 では、緑色のマクロ格子はフローが出るエリアを表し、赤い色のマクロ格子はフローが入って来るエリアを表す。この図を見ることで、始点となるエリア、終点となるエリア、フローが密集するエリアを一目で把握できる。

更に図を詳しく見ることによって、全体的なパターンを見ることができる。図 4-5 のグラフを見ると、上の真ん中のマクロ格子は同じような形と色であることが分かる。これは、このエリアのフロー群は同じ終点を持ち、その場所はミクロ格子の相対マクロ位置、つまり赤く描画い格子に流れていることが読み取れる。

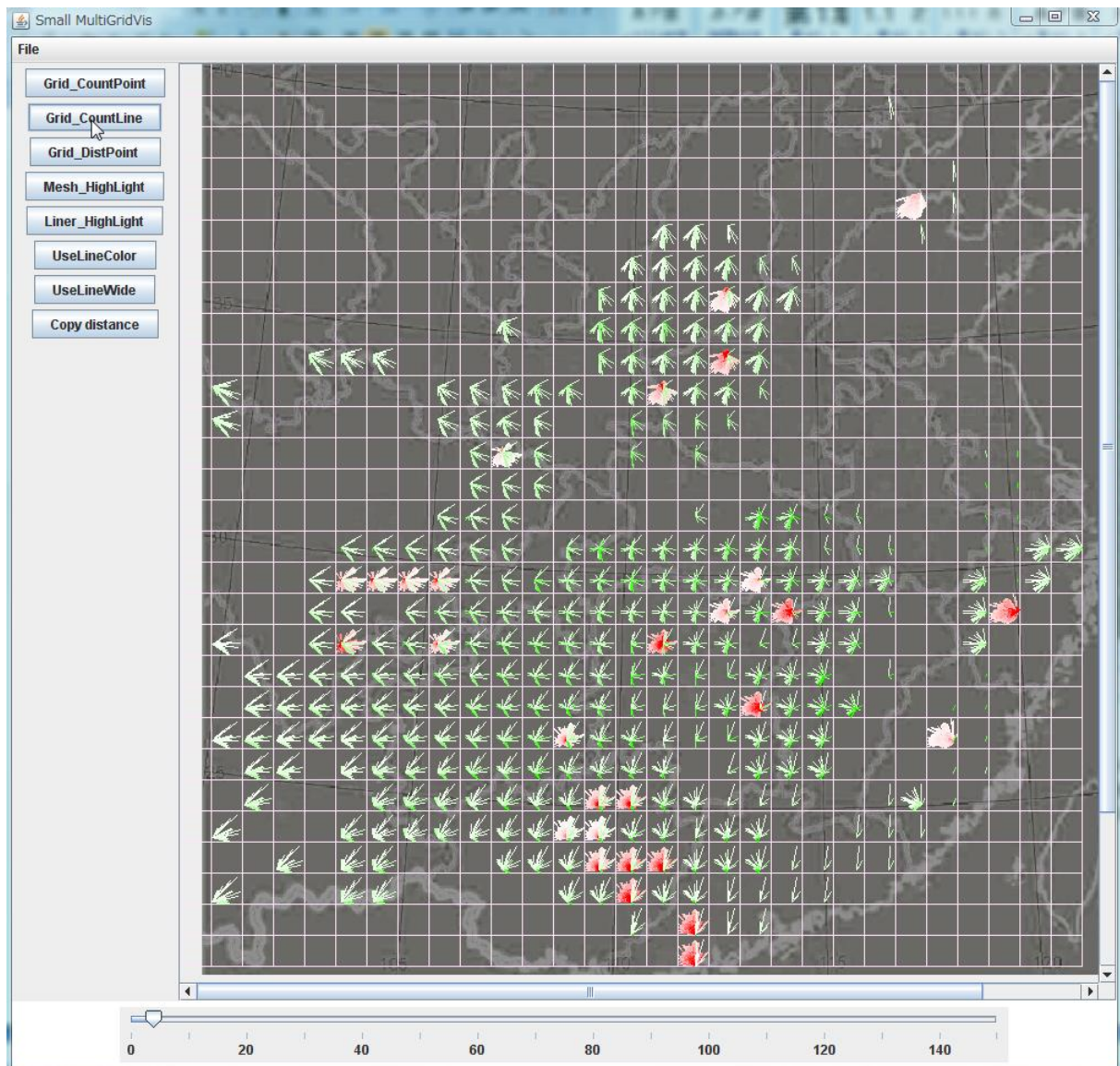


図 4-6 ミクロ線表現の描画例

図 4-6 を見ると、右下エリアの格子の緑色の部分が同じ傾向であることが分かる。このエリアの格子の緑ミクロ地図はマクロ地図の沿海都市の位置である。格子の中を線で表現することで、フローの方向を把握しやすくなると考えられる。

4.3.2

距離把握機能

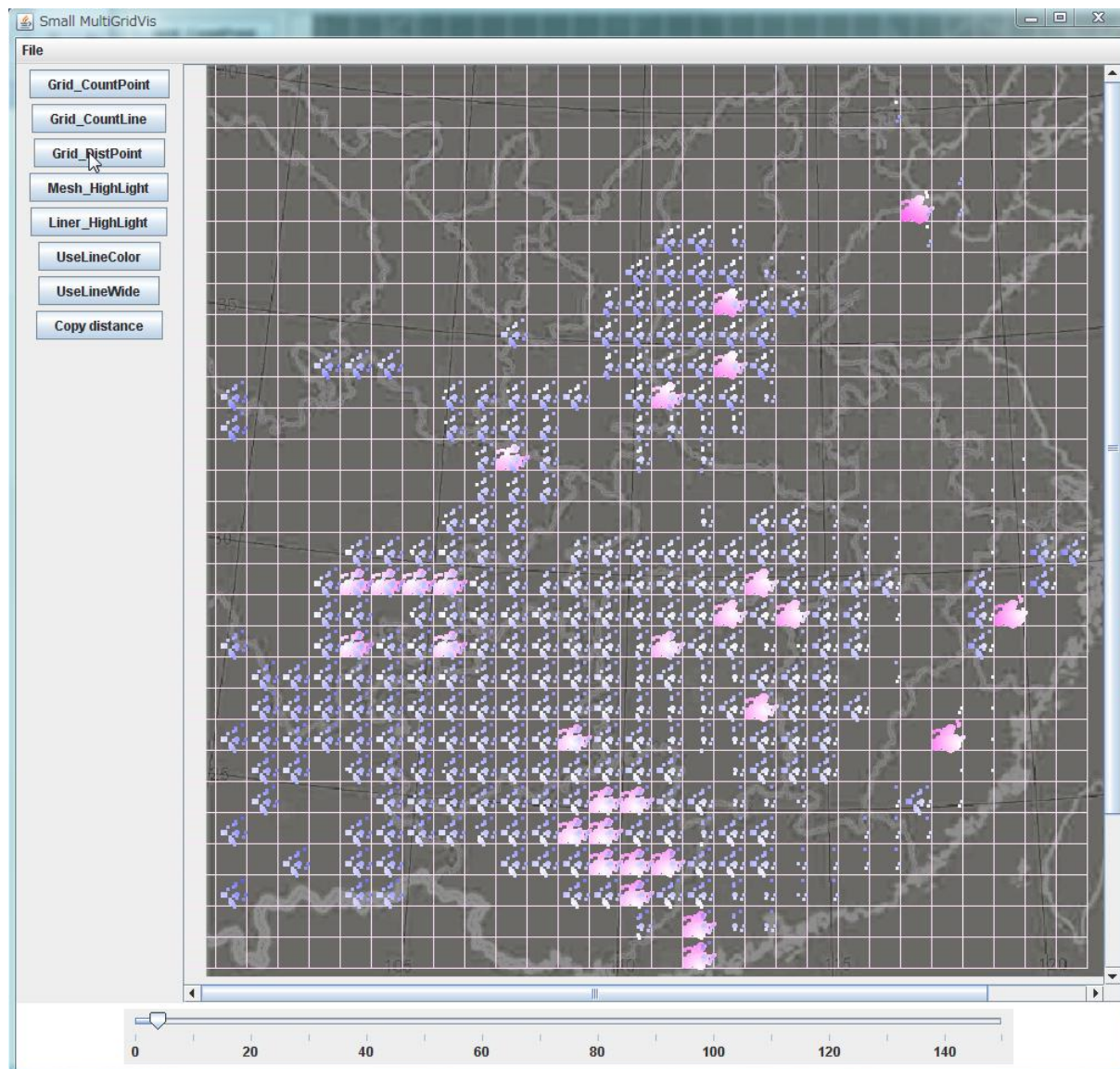


図 4-7 フロー距離をマイクロ四角表現で描画した例

手法選択パネルで Grid_DistPoint ボタンを押すと、距離に対して Small multi-gride 手法で描画した図に切り替えることができる。(図 4-7)。図 4-7 を見るとフローの距離分布を把握できる。

フローの距離と量を同時に見たい場がしばしばある。このため、量の描画図上で着目した格子の右格子に、着目した格子の距離を表現した図を提示する機能を提供している。

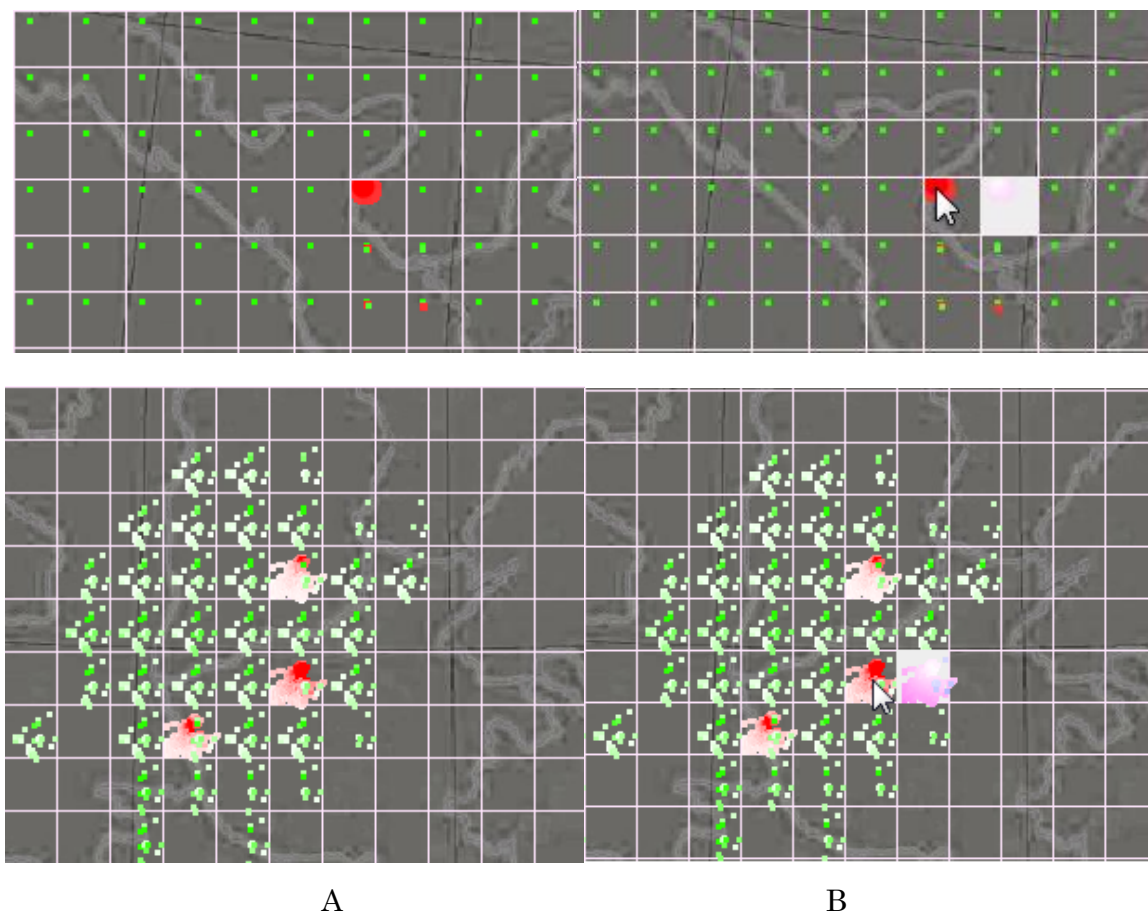


図 4-8 コピー操作

図 4-8 の A の赤い格子に着目した時、カーソルでクリックすると図 4-8 の B のように隣の格子に距離を描画した図をコピーして表す。これによって、注目した地点フロー量と距離を両方把握できる。カーソルがある地点の色が鮮やかな位置に対する、右の格子の色は薄いほど良いパターンになる。これは量が多いフローに対して、距離が近いことを意味する。もし、マウスがある格子の色が鮮やか場所に対応する隣格子の色も鮮やかになると、良くないフローつまり量が多くて遠い地点に移動していることが示している。

4.3.3 詳細情報を把握するための操作

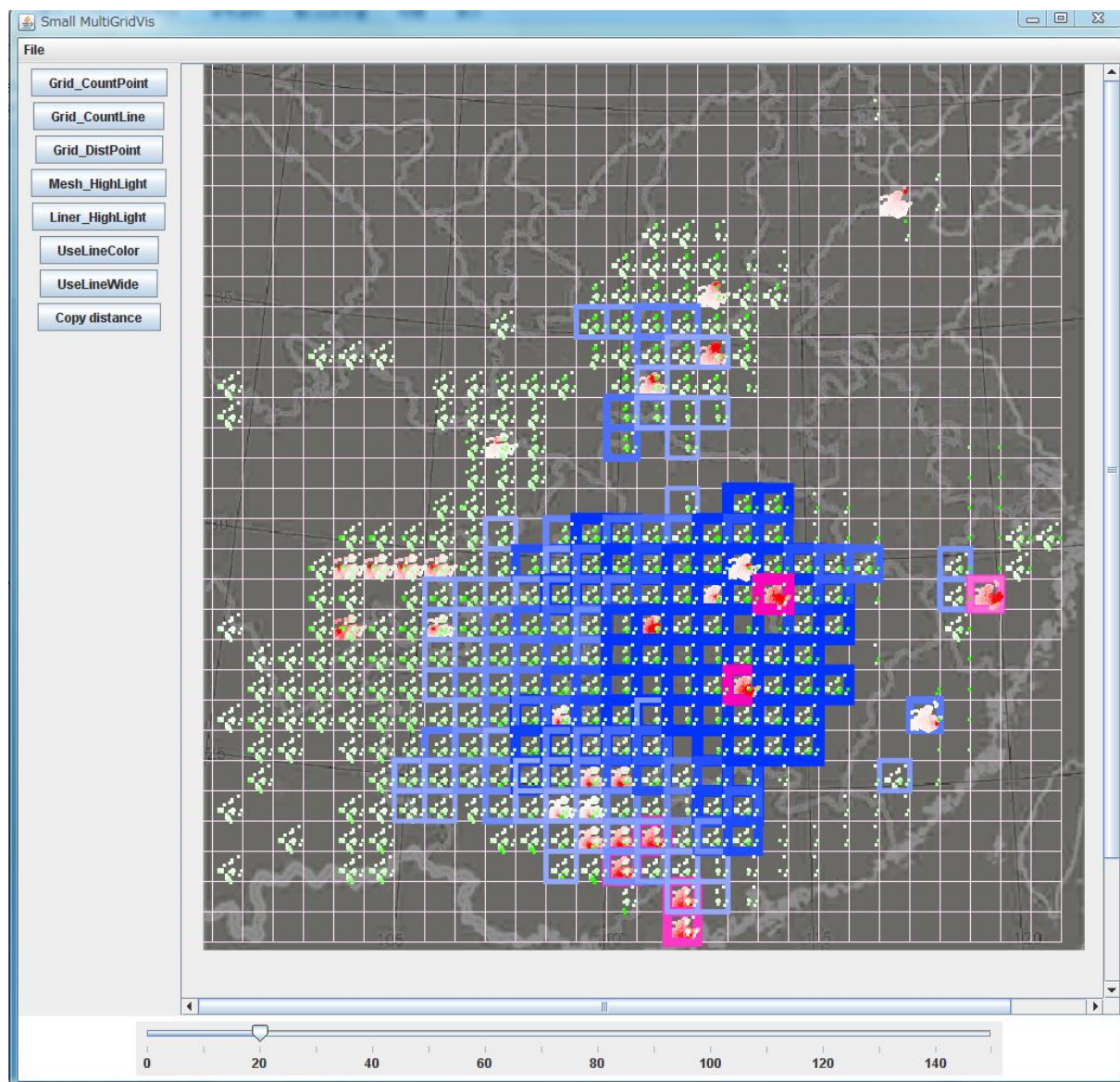


図 4-9 枠のハイライト表示

注目部分を分かりやすく表示する手法として、マウスオーバーによって、注目した点とフローをハイライトする機能を用意した。本ツールはハイライト手法として、枠のハイライトと線のハイライトを提供している。

手法選択パネルで Mesh_HighLight ボタンを押すと、図 4-9 のように、着目した格子とフローがある格子の枠をハイライトする。青い色の枠はフローが入る格子を表し、ピンク色の枠はフローが出る格子を表す。この手法によって、概観情報と注目する部分の詳細情報を同時に把握することができる。加えて、色の彩度で量を表すことによって、量が多いフローがどこで発生しているかを把握することができる。

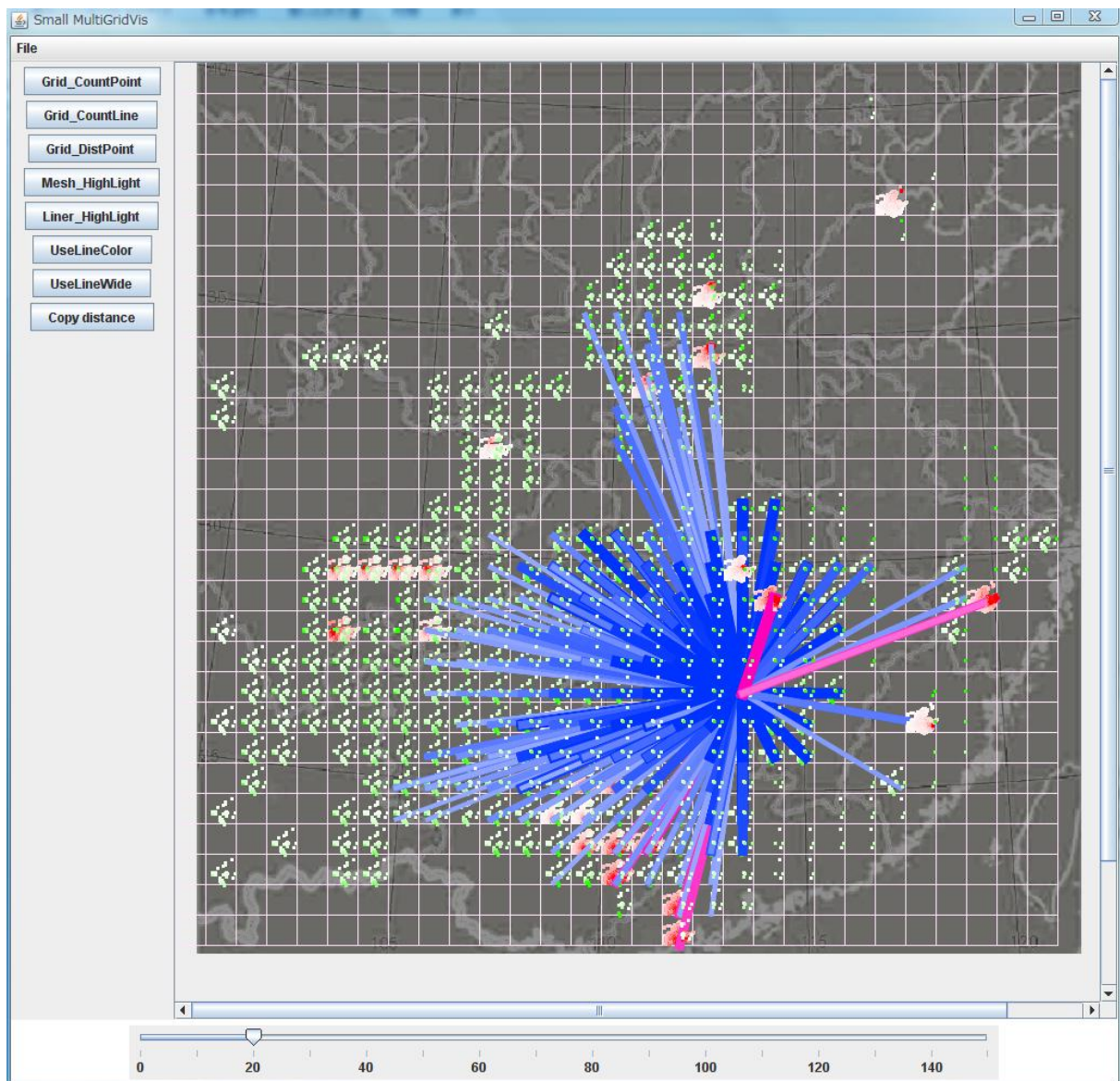


図 4-10 線のハイライト表示

手法選択パネルでliner_HighLightボタンを押すと、図4-10のように着目した格子とフローがある格子を線でハイライトすることができる。青色は、着目した地点に入るフローを表し、ピンク色の線は着目した地点から出て行くフローを示している。線の長さにより、注目した所とフローがある所の距離を直感的に把握できる。線が長くて濃いフローは良くないパターンになる。これによって距離と量を同時に把握できる。

4.3.4 主なフローを把握するための操作

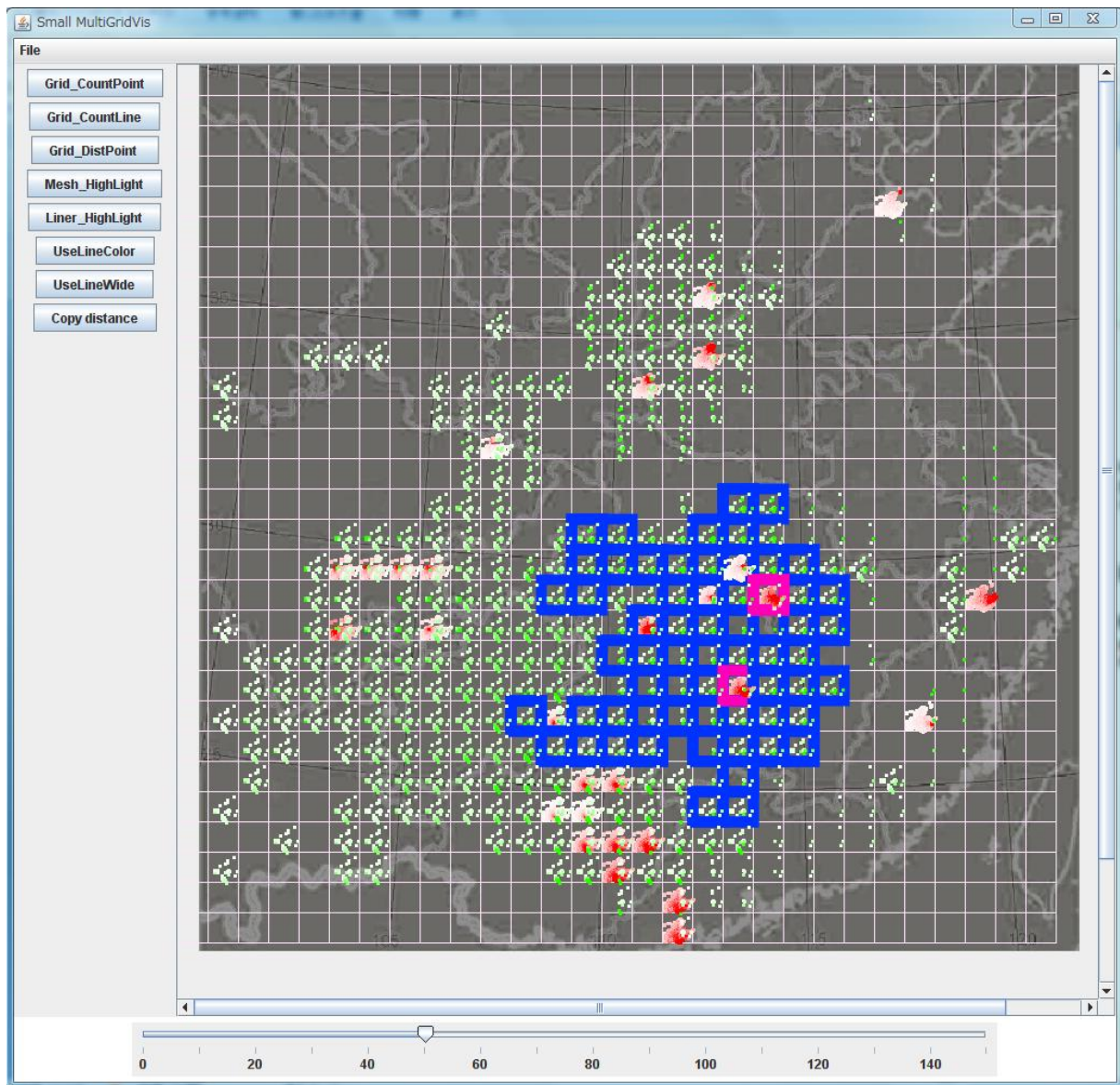


図 4-11 フロー距離を描画

スライダーパネルを操作することで、フローの量の値を設定することができる。選択した値より大きい量を持つフローのみをハイライトして表示する。50を選択した時、図4-11のように50より多いフローの格子を青い枠でハイライトする。

スライダーでフローの量を選択することで以下の情報が把握できる。

1. 量が多いフローの分布の情報を把握できる。
2. 着目したフローの距離の情報を視覚的に把握できる。
3. 全体分布と量が多いフローの情報を同時に把握できる。

4.3.5 距離パターン把握するための機能

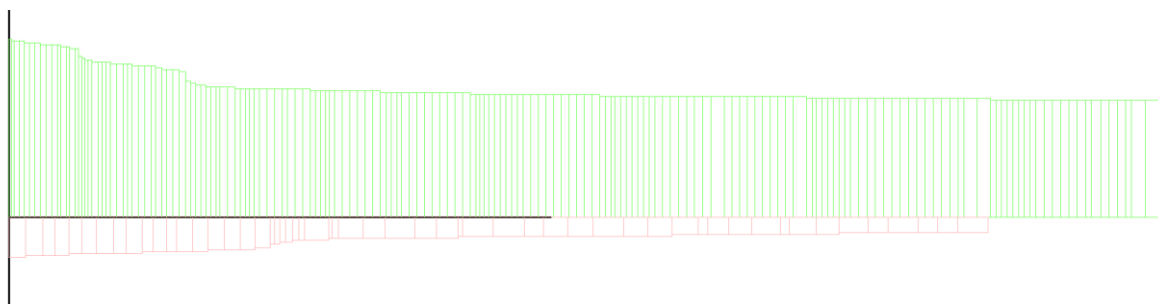


図 4-12 距離棒グラフ

メインパネル上で注目した格子をクリックすると、注目した所を始点にするフローは赤色で、注目した所を終点にするフローは青色で表現され、図4-12のような距離を値とした棒グラフがもう一つのフレームに表示される。これによって、距離パターンを視覚的に把握できる。

4.4 実装

本研究で開発したツール「SMGVis」のインタフェースはJava™ 6.0(Java™ Platform, Standard Edition 6 Development Kit)を用いて開発した。
読み込みデータの形式はtxtである。

第5章 ケーススタディと考察

本章では、専門家によるケーススタディを通して得たシステム評価を述べる。本研究では表 2-1 のような地理的情報を持つフローデータの例として、食糧移動データを扱う。システムに適用させる食糧移動データは、食糧モデルタイプ 1 とタイプ 2 の 2 つの入力データを持った[7]。環境問題の専門家がケーススタディを行い、システムを評価した。

5.1 入力データ

フローデータは、中国の華中-華南地域における食糧輸送データから作成された。東西方向は上海から昆明、蘇州まで、南北方向は広州から北京まで 2220km になる[7](図 5-1)。

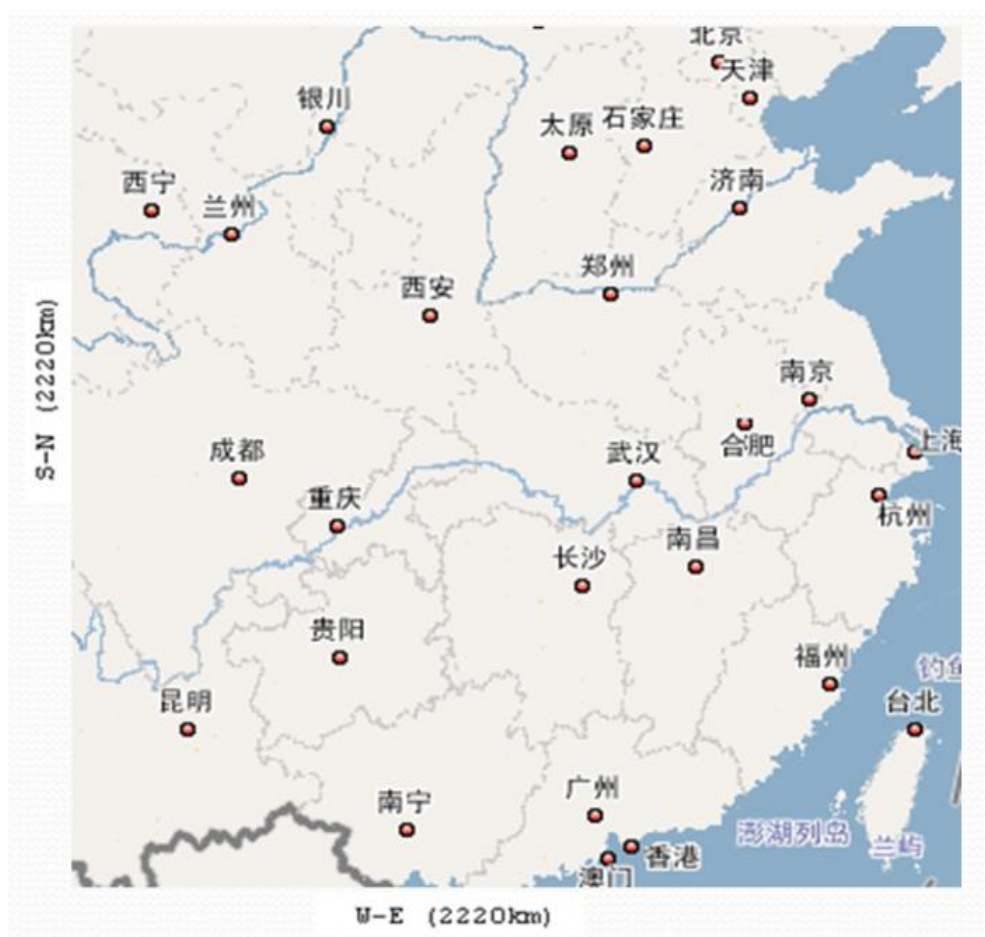


図 5-1 対象データ領域地図

5.2 ケーススタディ

ケーススタディとして食糧移動モデルの2種類のタイプのデータに対してフロー分析ツールを用いて、分析を行う。

5.2.1 モデル1

表 5-1 モデル1の入力データ

11	1	10	2	22
12	1	11	2	22
30	1	24	2	22
67	1	25	2	22
52	1	26	2	22
...	...	...	...	...

まずデータを選択し、地図上でデータの描画を行うようにする（図 5-2）。描画画面から、概観の分析を試みる。まず、図 5-2 のメインパネルに着目する。緑色の格子の分布はフローが出るところ、即ち生産地の分布が把握できる。図 5-2 のように生産地は中国の南西の方に広く分布しているのが見える。次に、メインパネル上の赤色格子の分布を見ると、フローが入るところ、即ち消費地の分布が把握できる。赤い格子は上海、香港などの都市に集まっていることが分かる。

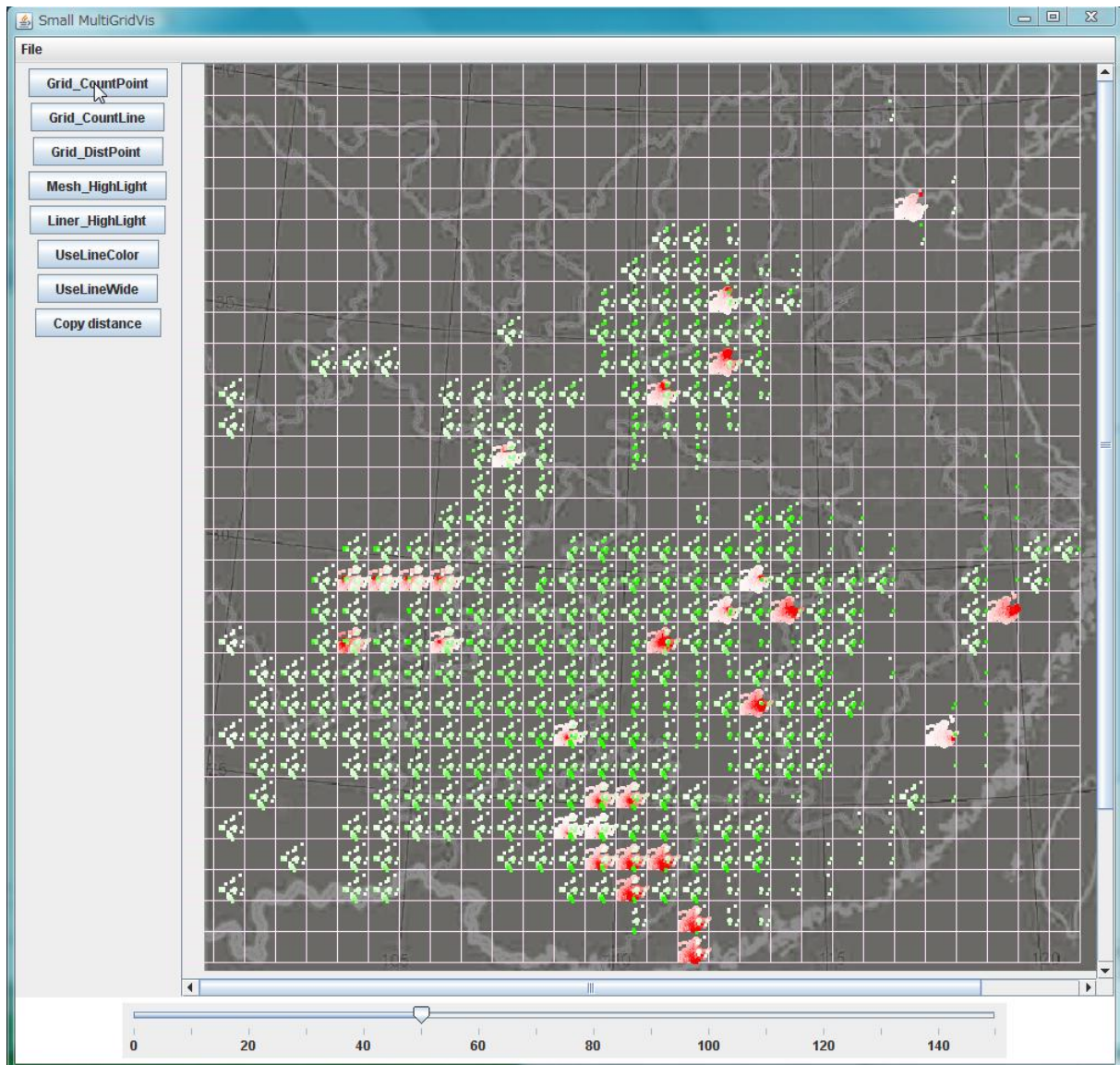


図 5-2 タイプ 1 の描画例

さらに、図 5-2 を詳しく調べて見ると、図の中央より少し上にある格子が同じ形をしている事が分かる。これはこのエリアから食糧が同じ地点へ移動することを意味する。どこへ出ているかを見るために、そのセルを拡大して全体地図に対応すると、主に量が多いフローは中央より少し上にある赤色格子の所に移動する事が分かる。

そこで、概観を俯瞰しながらマクロパターンを把握する。図 5-2 を見ると、左下は同じ傾向の子マトリクスを持っている。これはこの領域が図の中央下エリアへ食糧を輸送している事を示している。

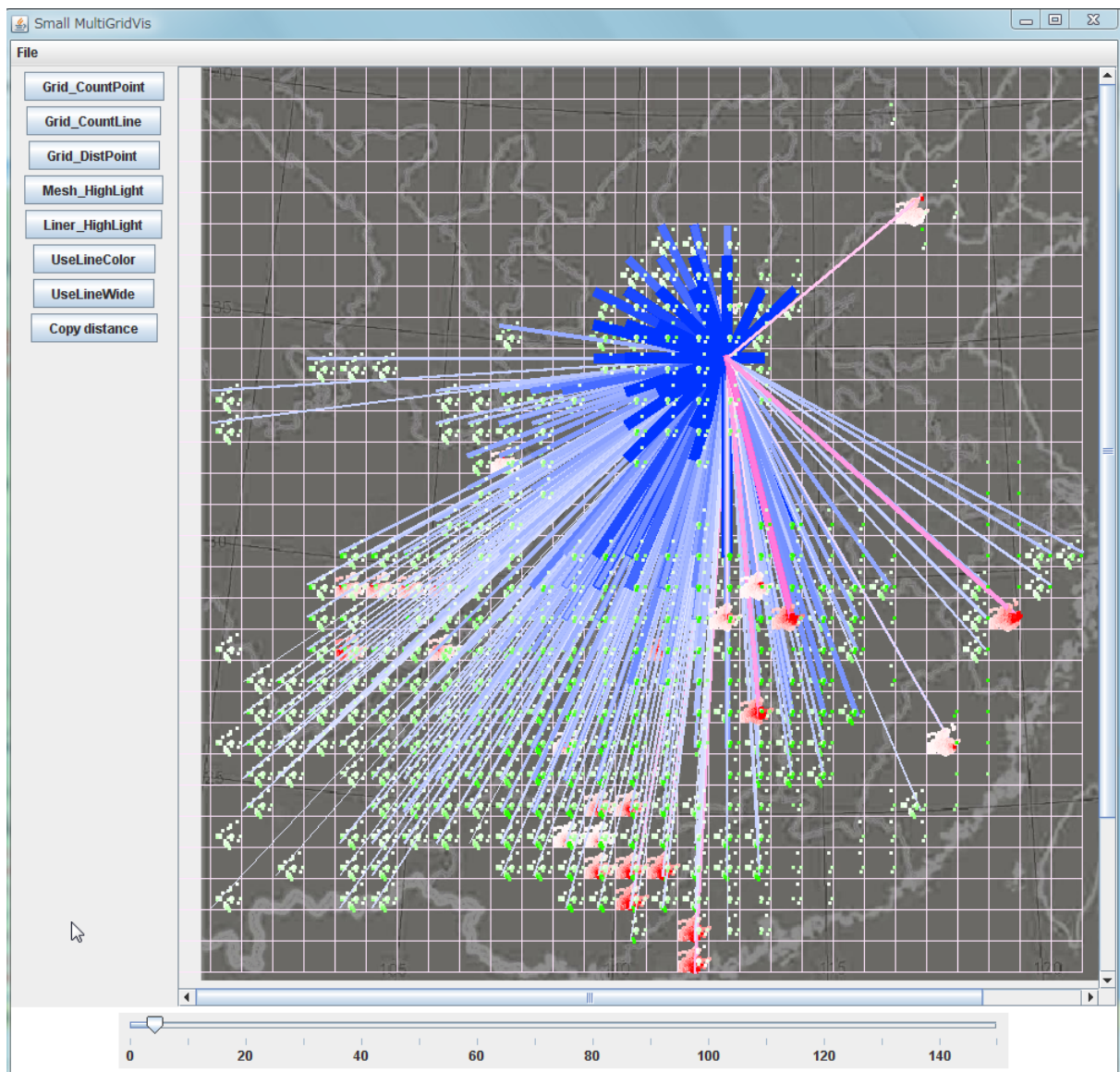
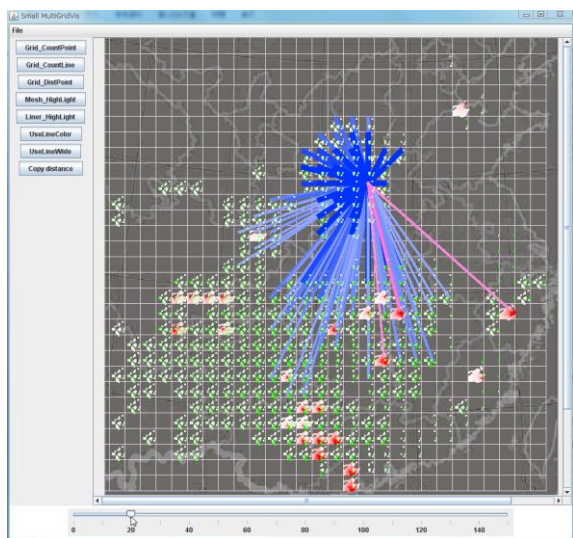


図 5-3 西安に着目したビュー

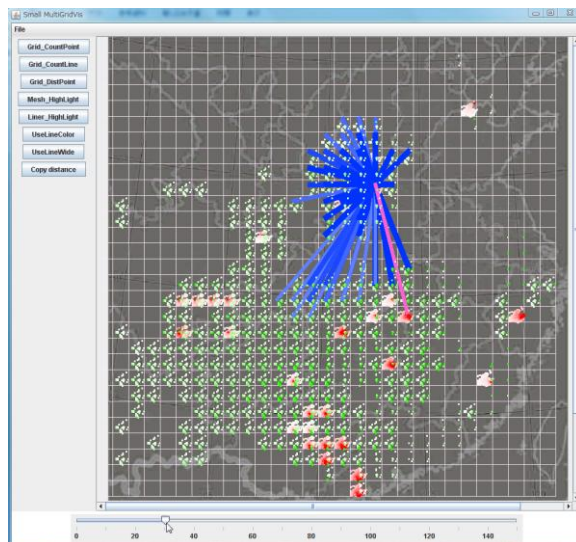
図 5-2 より、西安エリアに食糧が集まっている様子が見える。西安の食糧がどこから来ているかを見るために、マウスを西安の地点にドラッグすると、図 5-3 を得る。

図 5-3 を詳しく見ると西安以南の格子から出た線は長く、濃い色であることが分かる。これは大量の食糧が長距離輸送されている、良くないパターンであることが分かる。

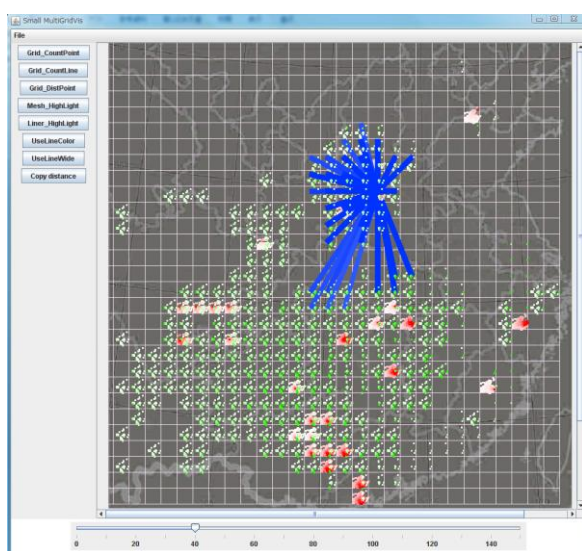
西安のパターンを分析するために、フロー量の選択を行う。この操作によって、西安は食糧をどこに頼っているか分かる。



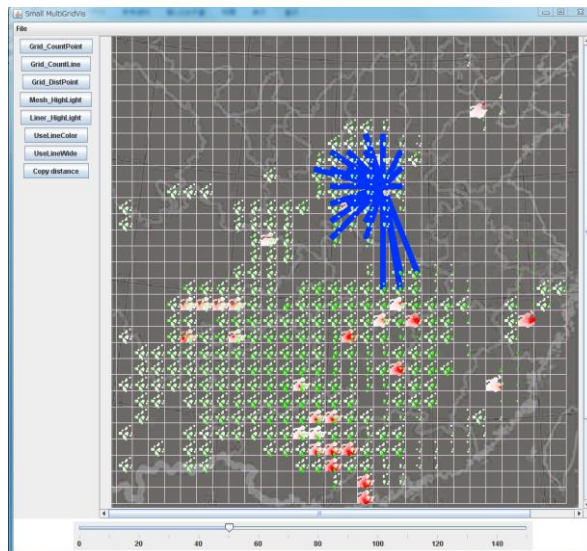
A



B



C



D

図 5-4 スライダーによる図の変化

西安と発生したフロー中で量が少ないフローをフィルタリングしたい場合、下のスライダーでフローの値を調整する。スライダーを 38 のところに移動させると、図 5-4 の A ようにフロー量が 10 以上となるフローだけがハイライトする。スライダーを動かすことで、フロー量が 10、20、30、40 に変化する時、メインパネルの図は A、B、C、D のように変化され詳細な食糧移動パターンが把握できる。

図 5-4 のように西安は下エリアから遠く離れ、量が多いフローが発生しているのが分かる。このようなフローは良くないフローである。

5.2.2 モデル 2

タイプ 2 のデータを読み込み、図 5-5 を得る。図 5-5 から概観の分析を試みる。図を見ると、赤い格子が沿海都市に分布している特徴が分かる。これは沿海都市に食糧が多く集まっていることを示している。

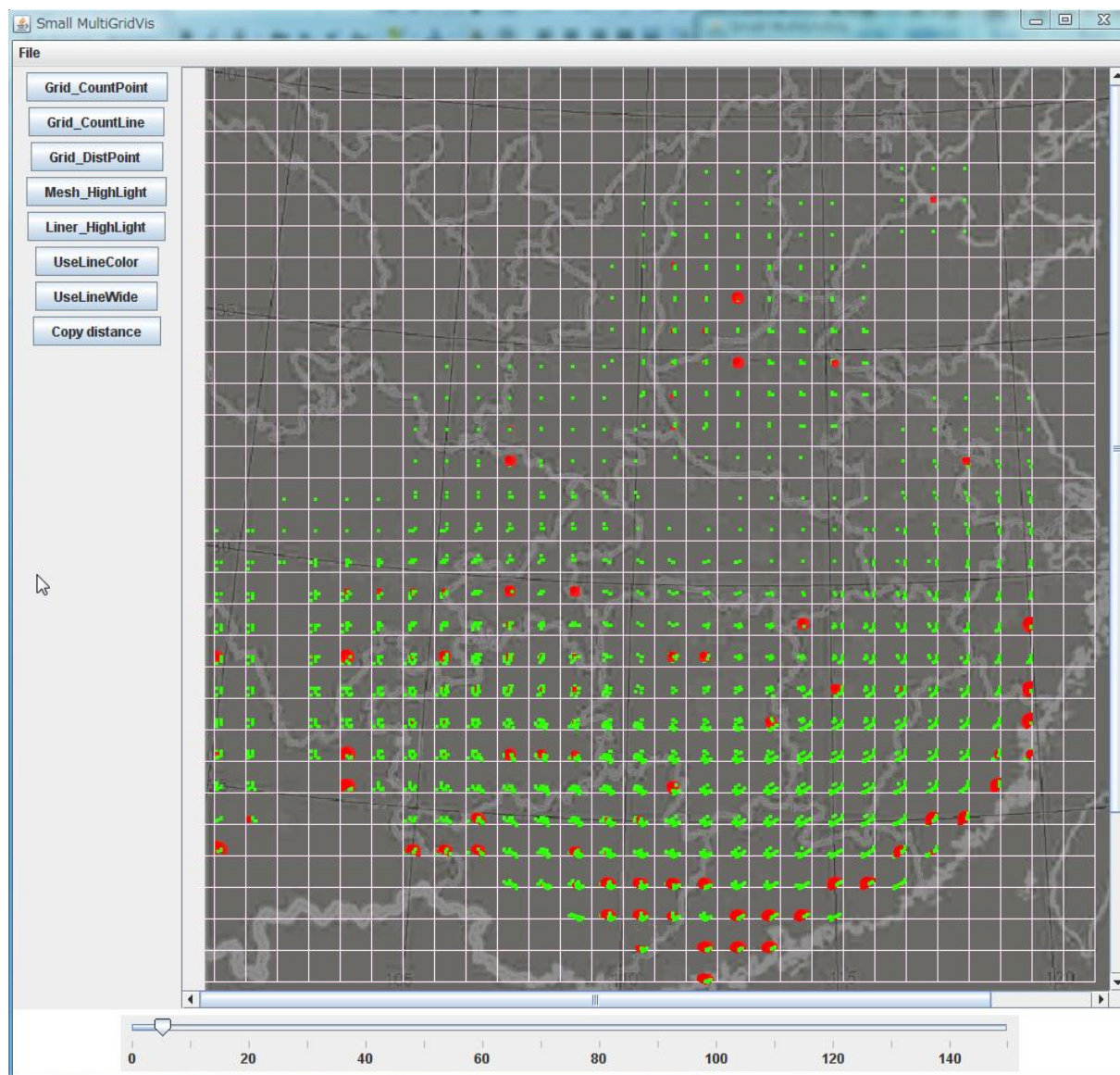


図 5-5 タイプ 2 描画の例

さらに、図 5-5 を詳しく見ると、沿海都市の近隣格子は同じ形の格子を持っていることが分かる。この格子を見ると、これが地図上で沿海都市に当たる。このことから、食糧が沿海都市周囲のから、沿海都市に移動していることが示される。

前述の分析を基に、沿海都市近隣の生産地がどこへ食糧を送っているのかを見るため、マウスを沿海都市の近隣エリアに沿ってドラックすると、図 5-6 のようになる。

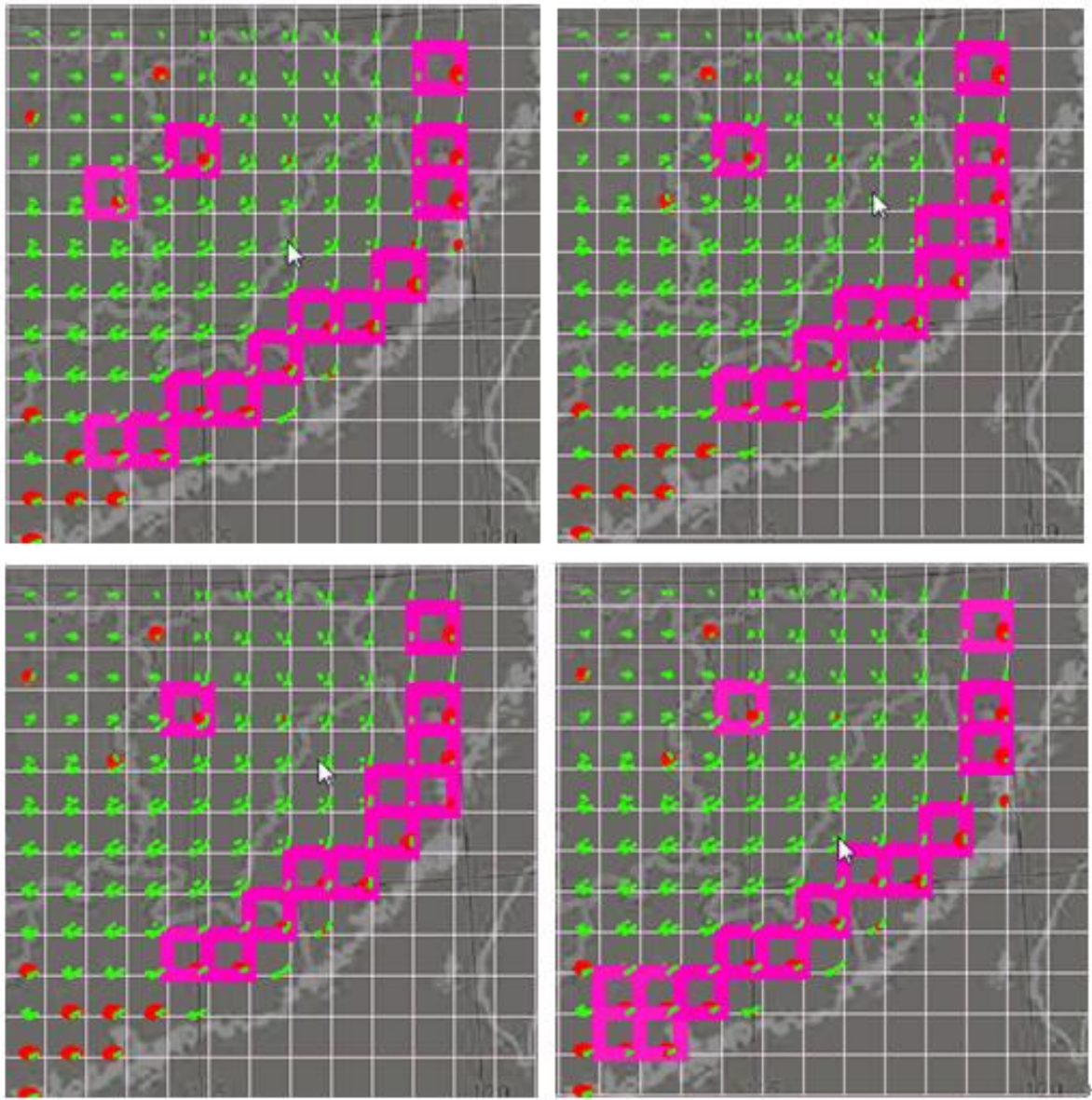


図 5-6 沿海都市近隣に着目したビュー

図 5-6 より、沿海都市近隣エリアは主に沿海都市に食糧を送っていることが読み取れる。

5.2.3 モデル間の比較分析

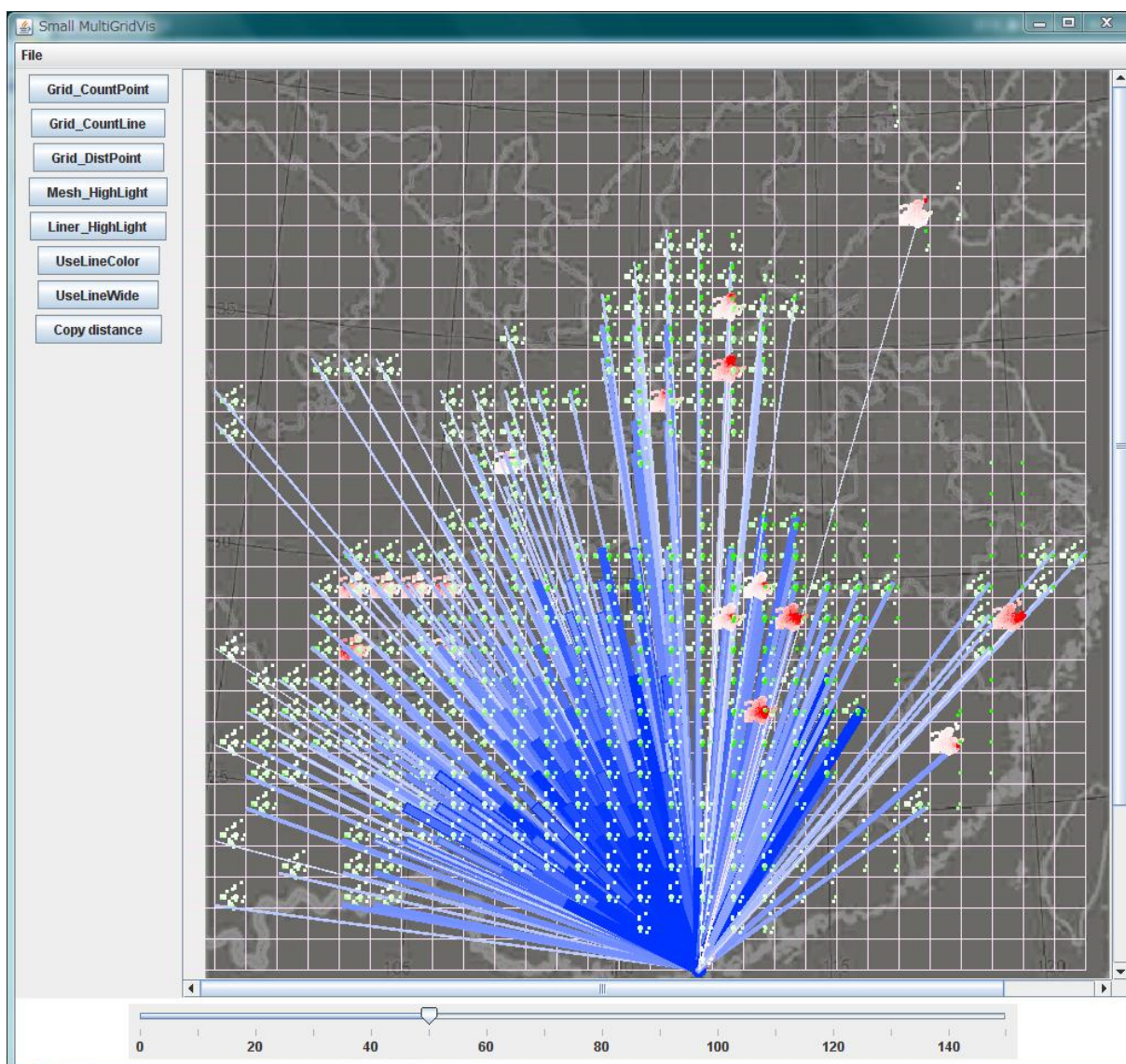


図 5-7 モデル 1 の香港に着目した分析

図 5-2 を見ると香港周辺に食糧が集まっている様子が見える。香港の食糧がどこから来ているかを見るため、マウスを香港の格子にドラッグし、図 5-7 を得る。

図 5-7 より、香港に繋がるフローに関して、近い所の線の色は濃く、遠い所との線の色は薄い特徴が分かる。これにより、モデル 1 では、距離要素がフロー量に影響することが分かる。

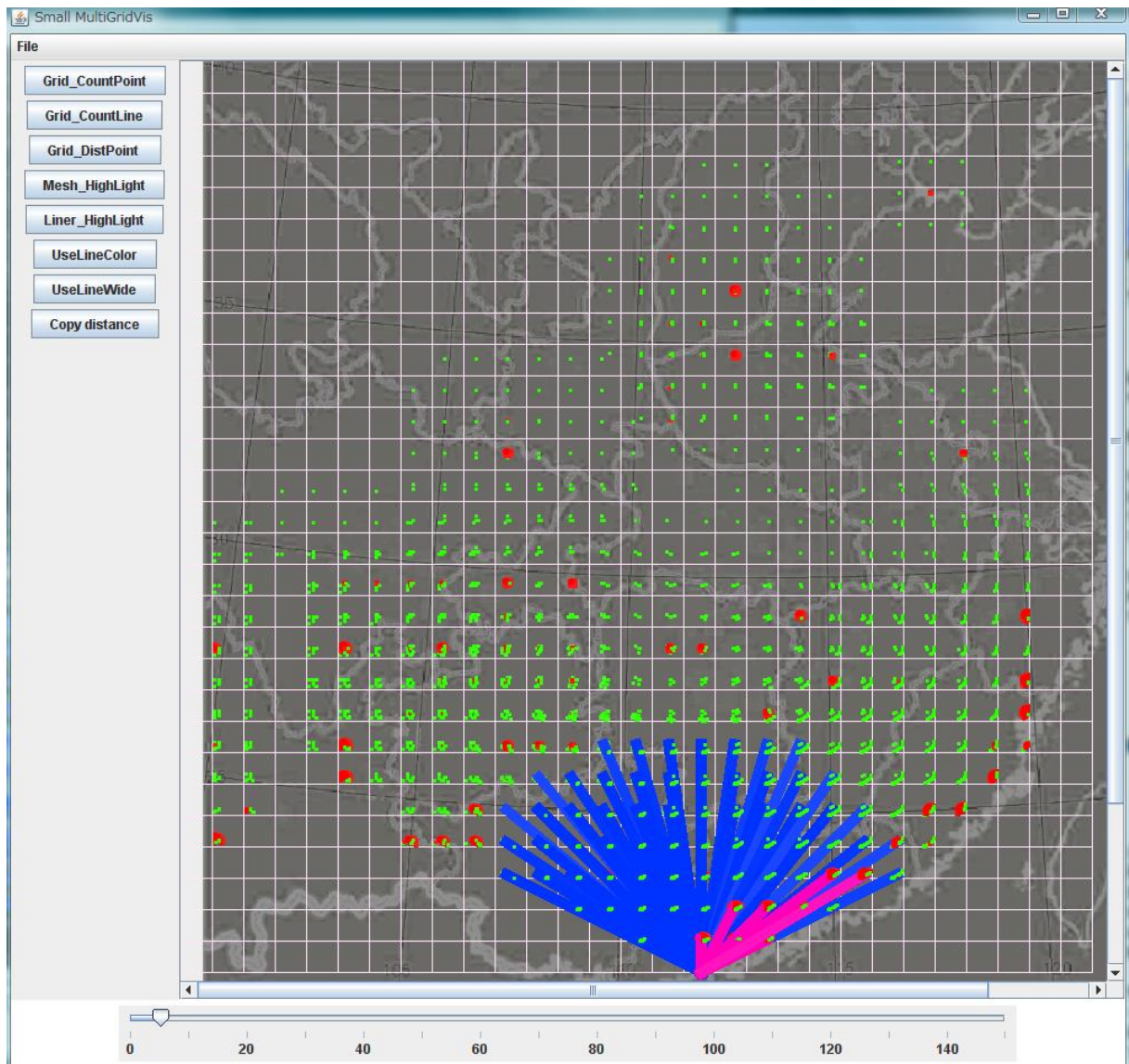


図 5-8 モデル 2 の香港に着目したビュー

図 5-5 を見ると香港の周辺で食糧が集まっているように見える。香港の食糧がどこから来ているかを見るため、マウスを香港の所にドラッグすると、図 5-8 を得る。

図 5-8 を見ると香港は近隣から食糧を受け取っている様子が見える。モデル 2 では距離によって線の色濃さは変化しない様子が見てとれる。加えて、遠い所ら食糧を受け取っていないことも見てとれる。

モデル 1 の図 5-7 とモデル 2 の図 5-8 を比較しながら、分析を行う。

5.3 考察

ツール全体として概観の把握をスムーズに行うことができるという評価が得られた。詳細情報把握機能については、特徴がある所のフローが把握でき、フローの始点や終点の位置が分かりやすいという評価を得た。

マイクロ格子のマイクロ四角表現とマイクロ線表現について、全体情報を把握するためには四角表現の方が良いという評価が得られた。

距離把握機能に関して、詳細情報を把握しようとする場合、枠のハイライトと線のハイライト表現手法を比較すると、線の方が距離を直感的に把握できるという評価を得た。この機能によって、フローの量と距離の両方をできて分析がスムーズに行えることが分かった。

ベクトルと枠線ハイライト機能が両方あった方が分析を助けるという評価を得た。線ハイライト機能は直感的な把握を助け、枠線は全体フローと注目した所の情報を両方見せるという特徴を持つ。線のハイライト機能では、注目する所のフローの印象を持って枠線ハイライトで分析ができるという利点がある。

スライダー機能に関して、フローの値を得る事ができ、また主なフローを把握できる、なくてはならない機能だという評価を得た。

詳細情報把握操作とスライド操作を頻繁に交代させながら、分析を行う場面が見られた。このことから、ユーザは興味がある所で量と距離を両方把握し、分析を行ったと考えられる。スライダーで量を調整し、アニメーションを見ることにより、着目した所の詳細パターンを把握している。

詳細分析を行う時、赤い色が密集している所を見る傾向が見られた。これは、ユーザがまず全体情報を把握し、それから特徴がある所の詳細分析を行うことを示している。これにより、詳細分析を行うために予め特徴を把握することが重要だと考える。初めは全体を俯瞰させ、特徴がある所を目立たせる必要がある。開発したシステムはこのような内在的要求を満たしている。

本システムを用いた分析により、モデル2は沿海都市に消費地が並ぶという特徴を持つことが分かった。専門家はモデル2のデータが前述の特徴を持つことに関して、格子の食糧を集める力は人口とGDPに比例しているからであると言った。中国は、沿海都市に人口が集まっている現状のためである。

5.2節と5.3節のモデルによる違いを尋ねたところ、これらはモデルで図5-9のように距離を調整しているとの返答を得た。2種類のデータを比較することで、モデルの本質的な違いをはっきり見せているという評価を得た。

これらの評価から、本研究で開発したツールは地理的情報を持つフローデータの特徴の発見に有用であると考えられる。

Ga	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.0	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
9	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4

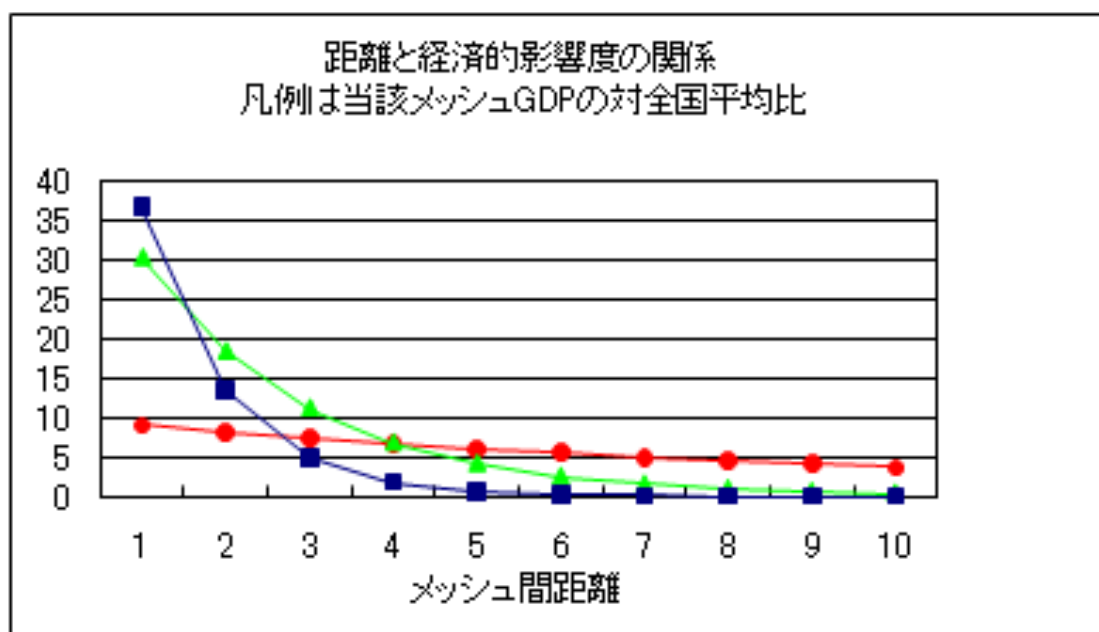


図 5-9 メッシュ間距離[8]

最後に、食糧移動による分析は、輸送エネルギーやコストを最小にするような理想的なパターンを求める方法として応用できる。さらに、エネルギー浪費を削減することによって、低炭素社会向けの分析に繋がるとの意見をもらった。

第6章 関連研究と本研究の位置づけ

本章では、本研究に関連する研究について紹介し、本研究の位置づけを明らかにする。まず、第 6.1 節では本研究が目的としているフロー分析支援に関する研究について述べる。続いて、第 6.2 節では入れ子格子手法に関連する研究、第 6.3 節では Small multiples 手法に関する研究を挙げ本手法との違いを述べる。最後に、第 6.4 節では本研究の位置付けについて述べる。

6.1 フロー分析支援に関する研究

フローデータは向きを持っている。そのため、一般的な可視化手法としてはベクトルを矢印でフローの向きを描画している[10][11][12][13]。フローマップは地図上でフローを線で描画を行ったマップである。フローマップでパターン分析を行う[14]。また、応用データも様々で人口データ[4]、フライドデータ[15]の分析に用いられている。

空間情報を持っているフローデータに対しての既存研究では、地図上でフローを線で表現し、線の太さ、色などでフローの量を表して、量が多いフローが把握ができるようにした[2][3][4]。このような可視化手法では、ネットワークのパスを線で表し、量を線の太さ或いは色で表現する。そのため、データ規模が小さい時にのみ有用である。規模が大きくなればなるほど線の交差が多くなり、混雑になる問題点がある。大規模ネットワークの線の交差による図の混雑を減少するための研究が行われている[16]。線のパラメータ数を調整する手法[17]や、線を抽出する手法[18]、線の密度で可視化する手法[19]や、一部分のパスだけ表示する[4][15]手法がある。これらの手法では全体的なパターンを概観できないという制限がある。

これ以外に、線の交差を少なくする方法として、線をグループ化して一つの線で描画する手法が応用されている[20][21][22]。Michal Baur[20]はマクロ構造とミクロ構造に分けて描画を行った。ミクロ構造に対しては円周で配置し、マクロ構造ではミクロ構造の円をノードにして描画を行った。このようにして、マクロ構造は少ないノード持ち図に見えるによって、線の交差を減少させた。また、地図上フローの線をグループ化して木の形で表し、複数のフローが一つの線を共有するように表現する研究も行われている[5][23]。これらの手法では概観の把握を支援できるという特徴がある。このような手法は、複数のパスが一つの線を共有しているため、個々のパスの始点と終点が把握できないという制限がある。

グラフの描画の分野でも、線の交差による混雑さを解消するために、滑らかな曲線で描画する手法[21]や、線の色で向きを表す[22]手法が研究されている。でも、本質的な線の交差による図の混雑さは解決していない。

フローデータは空間情報を持つ特徴があるため、ノードの配置から空間的關係を読み取る必要がある。このため、各ノードを地理的位置に配置する[1][4][8]。空間情報を持つデータを一般的に地図上で、色を用いて表現することが多い[24]。これ以外、配置した場所ともとの地図上の場所を視覚的に繋がる要素を具備して描画する方法もある。ネックレスフ

ローマップは、地図上のあるエリアと対応する円を、地図を囲んでいるネックレスと呼ばれる円もしくは曲線上に配置する手法[25]である。ネックレスに配置した円の色は地図上のエリアの色に対応し、インプットするエリアの色に対応した扇に分けてフローを表現している。ネックレスフローマップは円の分ける方法であり、少ないフローのみ有用である。フローのパスが多くなると、円が多く扇に分けてしまい、フローの分析が難しくなる。

6.2 入れ子格子表現手法に関する研究

Small Multi-grid 手法は入れ子格子可視化表現の拡張手法である。

可視化手法として入れ子格子手法はよく用いられている。マップの表現では、三角形、四角形などネストしたネストマップ表現は利用された[26]。

入れ子格子手法として、多く応用される手法の Treemap が挙げられる[27][28][29]。Treemap の可視化手法拡張として、Wang らは交通フローを Treemap で表現し[30], Jern は Treemap で階層データを描画し[31], Huang らは Treemap を棒グラフに応用した[32]。

Itoh らは階層型データを長方形の入れ子表現で表して、データの階層が把握できるようにした[33][34][35]。長方形の入れ子表現(「平安京ビュー」)の拡張手法として、階層型ウェブサイトデータを対象とした研究[36]、遺伝子ネットワークの階層型ネットワークデータを対象とした研究がある[37]。

本研究の特徴は、正方形格子を地理的位置に埋め込んだ点である。

6.3 Small Multiples 可視化に関する研究

Small Multiples 可視化技術は、Edward Tufte によって 1983 年に提案された、複数の小さな画像を並べて一つの画面に表す技術である。

その後、様々な分野データに対して Small Multiples 可視化技術が活用されてきた[38][39][40][41]。Saito は各月の温度の画像を月ごとに並べて表現し、それによって月による温度の変化が見えるように表現した[42]。さらに、年によって並べることで、年による温度変化などをみることができる。

本研究は、小さい画像を地理的位置に埋め込んで、フローの概観把握ができるという特徴がある。本手法は Small Multiples 可視化技術の拡張手法である。

6.4 本研究の位置づけ

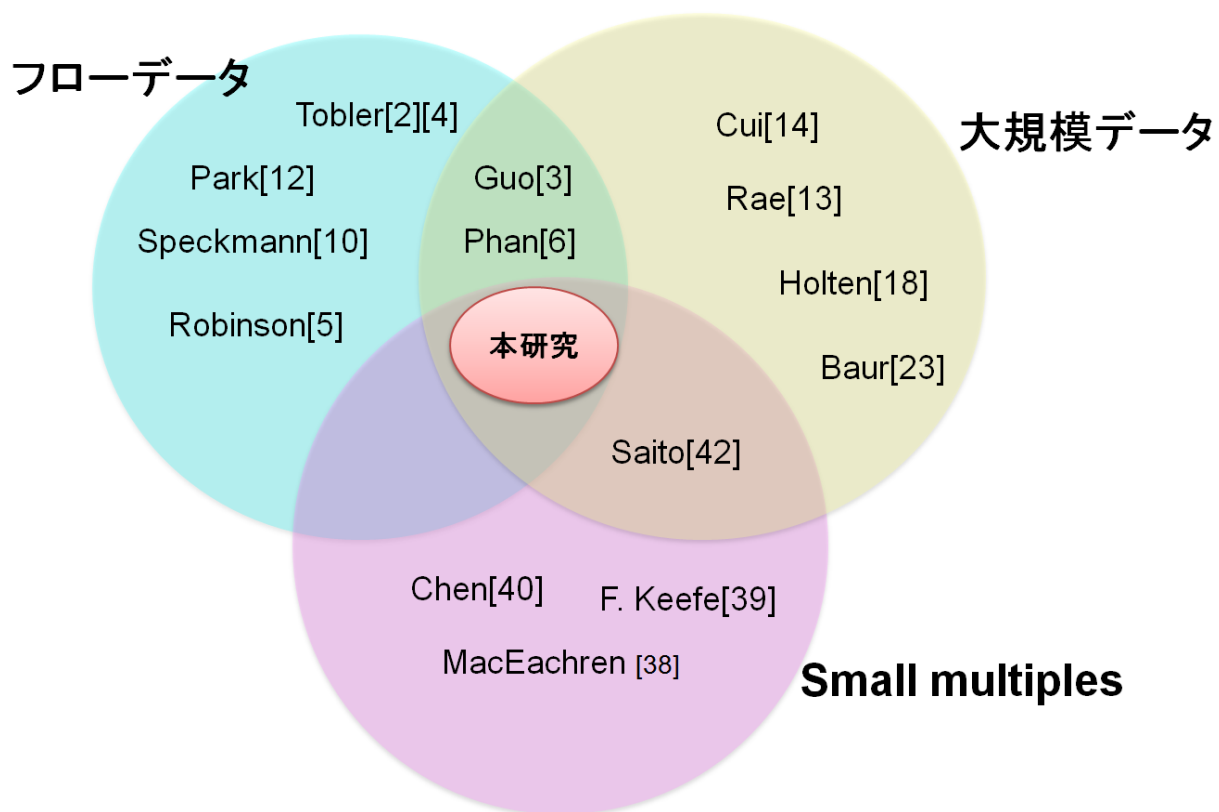


図 6-1 本研究の位置づけ

第7章 結論と今後の課題

7.1 結論

本研究では、フローデータ分析支援を目的とした、Small multi-grid 可視化表現を開発した。Small multi-grid は各フローをマイクロマトリクスで表現し、マイクロマトリクスをマクロマトリクスの対応位置に埋め込んだ表現である。Small multi-grid 表現手法を用いることで、大規模なデータに対しても、描画の混雑さと重なりの問題を解決することができる。

Small multi-grid 表現を適用したフローデータの分析ツールを開発した。本ツールはフロー分析における要求を満たすため、地図を背景に表現し、必要な可視化手法とインタラクティブな操作を備えている。本ツールは、Small multi-grid 表現による概観把握と、インタラクティブな操作による詳細把握の両方の支援を行った。

ツールの応用例として食糧移動のフローデータを扱い、二つのタイプのデータのケーススタディを行った。さらに、環境分野専門家による分析と評価を通して、本手法及びツールの有効性が明らかにした。

7.2 今後の課題

本研究で開発した可視化手法は、食糧輸送データに限らず、表1のような地理的情報を持つフローデータ全般に適用可能な応用範囲が広い手法であると考えている。このような、位置関係を含むフローデータは実世界で多く見られ、その分析を行う要求が多く存在する。例えば、多く見られる人口移動データでは、人がどこからどこへ移動するかの情報を持っている。分析を通して、地区的移動傾向、移動量が多いフローなどの情報を把握できる。最近先進的国家に鮮明に現れている農村から都市への人口の大量的移動パターンなどを示す事ができる。

また、本手法は実世界の物の動きに限らず、インターネット上でのウイルス拡散、情報拡散などのデータにも応用できると考えられる。例えば、データを IP によって位置関係を分ける事ができ、本手法により発信源、攻撃中心、攻撃されたエリアなどの有益な情報が把握できると考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教員である三末和男准教授には日々の研究活動において多大なご指導を頂きました。研究の進め方から論文執筆に至るまで、大変貴重なご助言、ご指導に厚く御礼申し上げます。

田中二郎教授には留学の決定から相談にのって頂き、研究においても多大なアドバイスを頂き、心から深く感謝致します。高橋伸准教授には研究発表において有意義な意見を頂き、研究を進める上で大変参考になり、深く感謝致します。志築文太郎講師にはゼミでの発表に場において、有意義な意見を頂き、研究を円滑に進めることができました。

インタラクティブプログラミング研究室の皆様に、特にNAIS チームの皆様には日々のゼミはもちろんのこと、研究を進める上で有用な議論をして頂き、大変お世話になり、研究を進める励みになりました。

国立環境研究所の一ノ瀬俊明先生には、本研究を進めるにあたり、有意義な意見を頂き多大なる御協力を頂き深く感謝いたします。

最後に、学生生活を送る上で多大な援助をしてくれた家族には大変感謝しています。

参考文献

- [1] Stuart k. Card, Jock D. Mackinlay, Ben Shneiderman, Reading in Information Visualization: Using Vision to Think. Morgan Kaufmann, ISBN1-55860-533-9, XVII, pp. 686-712, 1998.
- [2] Tobler. Spatial Interaction Patterns. Journal of Environmental Systems, vol. 6, no. 4, pp. 271-301, 1976.
- [3] Diansheng Guo. Flow Mapping and Multivariate Visualization of Large Spatial Interaction Data. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 15, no. 6, pp. 1041-1048, 2009.
- [4] Waldo Tobler. Movement Mapping.
<http://csiss.ncgia.ucsb.edu/clearinghouse/FlowMapper>. 2004.
- [5] Robinson, Arthur H. The 1837 Maps of Henry Drury Harness. The Geographical Journal, vol. 121, no.4, pp.440-450, 1955.
- [6] Doantam Phan, Ling Xiao, Ron Yeh, Pat Hanrahan, and Terry Winograd. Flow Map Layout. Proceedings of the 2005 IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS'05) pp.29-35, 2005.
- [7] 一ノ瀬俊明, 王勤学, 大坪国順. 食糧需給関係及び経済力格差にもとづく中国国内食糧輸送モデルの構築, 環境システム研究論文集. vol. 32, pp.213-223, 2004.
- [8] 一ノ瀬俊明, 王勤学, 大坪国順. 依据経済水平建立的中国国内糧食運輸模型(中国語). 「国際中国学」研究方法論之建構(ICCS 国際研討会編, 375p.), pp.322-329, 2005.
- [9] Ben Shneiderman and Catherine Plaisant. Designing the User Interface: Strategies for Effective. Human-Computer Interaction. Addison Wesley, 2004.
- [10] W.R. Tobler. Model of Geographical Movement. Geographical Analysis. vol. 13, no. 1, 1-20, 1981.
- [11] W.R. Tobler. Experiments in Migration Mapping by Computer. American Cartographer, vol. 14, pp. 155-163, 1987.
- [12] Sung Park, Hongfeng Yu, Ingrid Hotz, Lars Linsen, and Bernd Hamann. Structure-accentuating Dense Flow Visualization. IEEE VGTC Symposium on Visualization (EuroVis 2006), pp.163-170, 2006.
- [13] D. Pineo, C. Ware. Neural Modeling of Flow Rendering Effectiveness. APGV 08 Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization, Los Angeles, CA, USA,

9 - 10 August, pp.171 - 178,2008.

[14] Bruce W. Herr II, Russell J. Duhon, Katy Börner, Elisha F. Hardy, Shashikant Penumarthy. 113 Years of Physical Review: Using Flow Maps to Show Temporal and Topical Citation Patterns. 12th International Conference Information Visualisation, pp.421-426,2008.

[15] A. Koblin. Flight Patterns. Science, vol. 313, no. 5794, pp. 1733,2006.

[16] 三末 和男. ネットワークの可視化技術：大規模ネットワークと動的ネットワークへの挑戦. 電子情報通信学会誌 Vol.92, No2, pp.112-117, 2009.

[17] Richard A. Becker, Stephen G. Eick, and Allan R. Wilks. Visualizing Network Data. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp.16-18,1995.

[18] Stephan Diehl Member, Fabian Beck, Michael Burch. Uncovering Strengths and Weaknesses of Radial Visualizations—an Empirical Approach. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics(InfoVis'10), pp. 935-942,2010.

[19] A. Rae. From Spatial Interaction Data to Spatial Interaction Information? Geovisualisation and Spatial Structures of Migration from the 2001 Uk Census. Computers, Environment and Urban Systems, vol. 33, no. 3, pp. 161-178, 2009.

[20] Michael Baur¹ and Ulrik Brandes. Multi-circular layout of micro/macro graphs. Graph Drawing 2007, LNCS 4875, pp. 255-267, 2007.

[21] D. Holten. Hierarchical Edge Bundles: Visualization of Adjacency Relations in Hierarchical Data. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG: Proc. of InfoVis'06), vol. 12, no. 5, pp. 741-748, 2006.

[22] W. Cui, H. Zhou, H. Qu, P.C. Wong, and X. Li. Geometry-Based Edge Clustering for Graph Visualization. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG: Proc. of InfoVis'08), vol. 14, no. 6, pp. 1277-1284, 2008.

[23] D. Phan, L. Xiao, R. Yeh, and P. Hanrahan. Flow Map Layout. IEEE Symposium on Information Visualization. pp. 219-224, 2005.

[24] Borden D. Dent. Cartography : Thematic map design. McGraw-Hill, New York. 1999.

[25] Bettina Speckmann, Kevin Verbeek. Necklace Maps. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics(InfoVis'10), Vol. 16, No. 6, pp.881-889,2010.

[26] Lutz Plümer, Gerhard Gröger. Nested maps—a formal, provably correct object model for spatial aggregates. Proceedings of the 4th ACM international workshop on Advances in geographic information systems, pp.76-83, 1996.

- [27] Johnson and Shneiderman, 1991 Johnson, B. and Shneiderman, B. Treemaps: A Space-Filling Approach to the Visualization of Hierarchical Information Structures. In Proceedings of the IEEE Information Visualization '91, pp.275–282, 1991.
- [28] Treemap 4.1, human-computer interaction lab. <http://www.cs.umd.edu/hciltreemap>.
- [29] Borden D. Dent. Cartography : Thematic map design. McGraw-Hill, New York. 1999
- [30] Wang Jiening, Hou Qizhen, Liu Yongxin, Zhang Chunfeng. Visualizing Air Traffic Flow Management Alert Information Using Squarified Treemaps. Sixth International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization, pp.419-422, 2009.
- [31] Mikael Jern, Jakib Rogstadius, Tobias Åström. Treemaps and Choropleth Maps Applied to Regional Hierarchical Statistical Data. 13th International Conference Information Visualisation, pp.403-410, 2009.
- [32] Mao Lin Huang, Tze-Haw Huang, Jiawan Zhang. TreemapBar: Visualizing Additional Dimensions of Data in Bar Chart. 13th International Conference Information Visualisation, pp.98-103, 2009.
- [33] Itoh T., Yamaguchi Y., Ikehata Y., and Kajinaga Y. Hierarchical Data Visualization Using a Fast Rectangle-Packing Algorithm. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 10, No. 3, pp.302-313 .2004.
- [34] T. Itoh, H. Takakura, A. Sawada, and K. Koyamada. Hierarchical Visualization of Network Intrusion Detection Data in the IP Address Space. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 26, No. 2, pp. 40-47, 2006.
- [35] 伊藤, 山口, 小山田. 長方形の入れ子構造による階層型データ視覚化手法の計算時間および画面占有面積の改善. 可視化情報学会論文集, Vol. 26, No. 6, pp. 51-61, 2006.
- [36] 山口, 伊藤, 池端, 梶永. 階層型データ視覚化手法「データ宝石箱」とウェブサイトの視覚化. 画像電子学会論文誌 Visual Computing 特集号, Vol. 32, No. 4, pp. 407-417, 2003.
- [37] 西山, 伊藤. 「平安京ビュー」を用いた階層型遺伝子ネットワークの可視化. 芸術科学会論文誌, Vol. 6, No. 3, pp. 106-116, 2007.
- [38] Alan MacEachren, Xiping Dai, Frank Hardisty, Diansheng Guo, Gene Lengerich. Exploring High-D Spaces with Multiform Matrices and Small Multiples. IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis 2003), pp.5, 2003.
- [39] Daniel F. Keefe, Marcus Ewert, William Ribarsky, and Remco Chang. Interactive Coordinated Multiple-View Visualization of Biomechanical Motion Data. IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, VOL. 15, NO. 6,

pp.1383-1390,2009.

[40]J. Chen, A. S. Forsberg, S. M. Swartz, and D. H. Laidlaw. Interactive multiple scale small multiples. IEEE Visualization 2007 Poster Compendium,2007.

[41] Beth Yost, Chris North. Single Complex Glyphs Versus Multiple Simple Glyphs. CHI 2005, Portland, Oregon, USA.ACM 1-59593-002-7/05/0004,2005.

[42] Takafumi Saito,Hiroko Nakamura Miyamura,Mitsuyoshi Yamamoto, Hiroki Saito, Yuka Hoshiya, and Takumi Kaseda. Two-Tone Pseudo Coloring:Compact Visualization for One-Dimensional Data. IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS'05),pp.23-31,2005.