

空間的解析手法を用いた ダイナミック3Dビジュアライゼーション



佐藤 俊明¹・内間 満明¹

1. はじめに

GPS付き携帯電話の普及や無線LANによる測位技術などが発達してきたことにより、大量な移動点データの取得が可能となってきた。このような移動点データにより人や物の移動監視・管理や行動解析が可能となるものと考ええる。

一方で、人間の知覚能力には限界があり、このような時々刻々と変化する大量の移動点データを直接理解することは難しいため、定性的かつ定量的に把握が可能な表現に変換する方法が必要である。

これまでの、移動点データを直感的に把握するために2Dアニメーションで表現するもの（図1）が多かった。しかし、この場合、移動点同士が重なり合ってしまうため（図1の点線の円で囲んだ部分）、移動点がどれくらい密集しているのか、また移動点同士がどのようなグループを形成しているのかということがわかりづらいという問題があった。

こうした問題に対して、佐藤・岡部³⁾はダイナミックカーネル密度法の提案とツールの開発を行っている。図2はダイナミックカーネル密度法による描画を連続表示しているもので、山型の高さが高いところほど、点の密集度が高いことを示している。しかし、このダイナミックカーネル密度法もその時々密集度を示すことは可能であるが、どの移動点同士が類似した行動をしており、またその集合がどれくらいあるかを定量的に示すことが

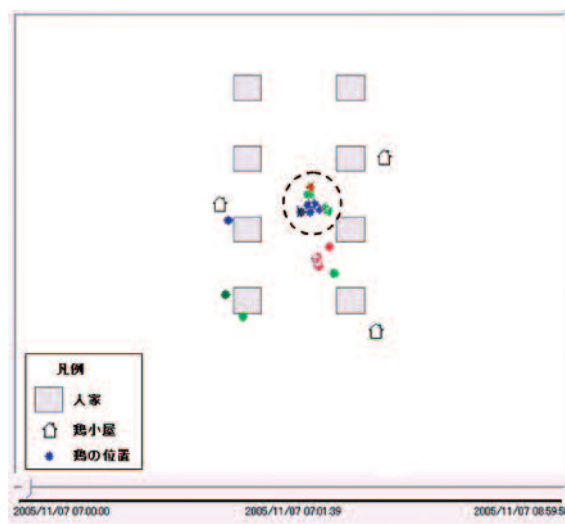


図1 2Dアニメーションによる移動点描画

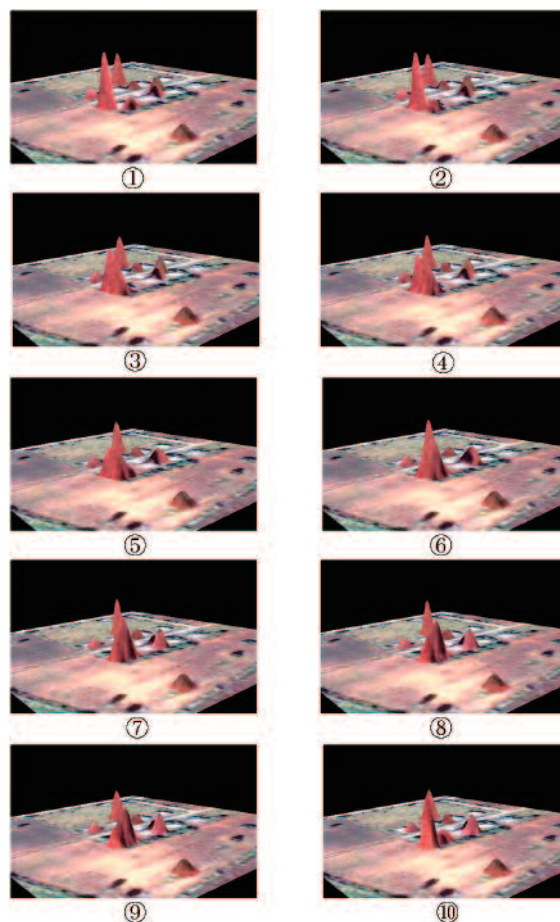


図2 ダイナミックカーネル密度法による移動点描画
(番号順に動的に高速描画)

¹ 株式会社パスコ

できない。

そこで本論文では、3Dグラフィックスを用いて移動点の類似グループ（クラスター）を定量的に把握できるダイナミック階層的クラスタリングの提案とツールの開発を行い、実データによるビジュアライゼーションを試みる。

第二章ではダイナミック階層的クラスタリングに関してその概要を、第三章では本プログラムの概要をそれぞれ述べ、第四章では実際の時系列移動点データによる本プログラムの検証を行い、第五章でまとめを述べる。

2. ダイナミック階層的クラスタリング

2.1 階層的クラスタリング

クラスタリングとは、ある集合を対象としたとき、クラスターと呼ばれる類似グループにその対象を分割することであり、データマイニングなどで頻繁に利用される。例えば、図3 (a) のようなテストの成績を用いて、各要素（この図では受験者）の類似分割を行うことができる。

この分割の方法には幾つかの種類があるが、ここでは従来の凝集型階層的クラスタリング法²⁾ 参照に関して述べることにする。

この手法は、 n 個の要素が与えられたとき以下のようなステップで階層的なクラスターを形成し、その結果を次節で示すデンドログラムを参照しながら閾値を決めて最終的なクラスターを得るものである。

本節では、まず階層的なクラスターを形成するステップを以下のように示す。なお、 $D(p, q)$ は要素間の距離関数、 $D(C_T, C_K)$ はクラスター C_T と C_K の距離関数を示すものとする。

STEP1：初期設定として、 n 個の要素それぞれをクラスターとする。

STEP2：図4に示すように、全てのクラスター

	国語	算数	英語	理科	社会
佐藤	70	68	66	43	56
鈴木	72	70	92	85	90
高橋	84	68	45	62	48
田中	49	85	52	89	57
渡辺	82	56	58	75	62

(a) テストの成績

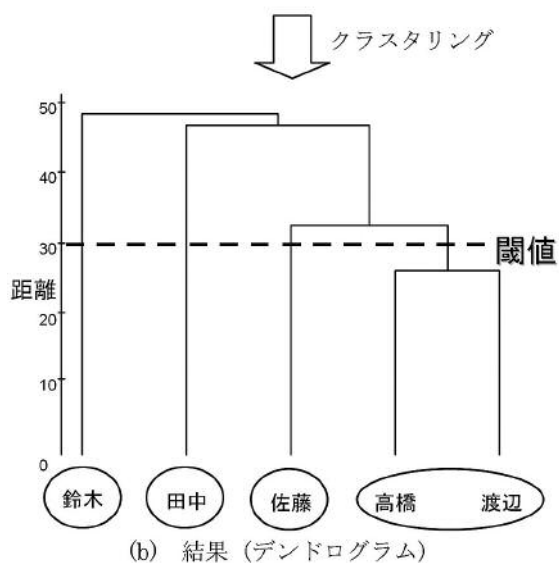


図3 階層的クラスタリング

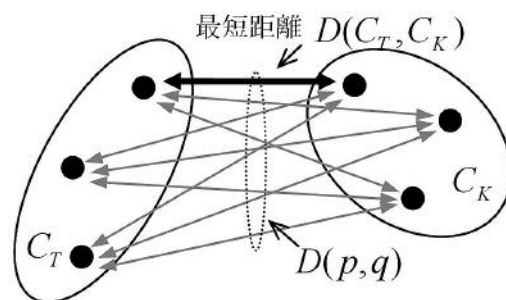


図4 最近隣法

間の要素組の $D(p, q)$ を求め、この距離からクラスター間距離 $D(C_T, C_K)$ を求める。

STEP3： $D(C_T, C_K)$ が最小なクラスター同士を新たなクラスターとして併合する。

STEP4：クラスター数が一つになるまで、STEP2、STEP3を繰り返す。

距離関数 $D(C_T, C_K)$ の違いにより最近隣

法、最遠隣法、群平均法、ウォード法などがあるが、本論文では、以下の式で定義される最近隣法を用いることとする。

$$D(C_T, C_K) = \min_{p \in C_T, q \in C_K} D(p, q)$$

この式は図4に示すような二つのクラスター間において、クラスターの各要素間の距離が最も近いものを距離関数として用いるものである。

2.2 デンドログラム

クラスタリング結果は図3 (b) のような二分木構造のデンドログラムによって表示される。デンドログラムの各終端ノードが各要素（図では受験者）を、非終端ノード（図の二分木の分岐点）が併合されてできたクラスターを示す。縦軸は、併合されたときのクラスター間の距離を示す。クラスターの抽出は、デンドログラムを見ながら解析者が閾値を設定することによって行われる。図では、閾値を30とすると、{鈴木}、{田中}、{佐藤}、{高橋、渡辺} の4つのクラスターに分割されていることを示す。

2.3 ダイナミック階層的クラスタリング

本手法の基本的な考え方は、時系列で測位された複数の移動点データの同一時点ごとに、移動点同士のユークリッド距離を計算して、前述の凝集型階層的クラスタリングを行うもので、時刻 t におけるクラスターを $C_T^{(t)}$ と $C_K^{(t)}$ とすると、動的な最近隣法は以下のような定義になる。

$$D(C_T^{(t)}, C_K^{(t)}) = \min_{p \in C_T^{(t)}, q \in C_K^{(t)}} D(p, q)$$

この定義に従い、時々刻々と変化するクラスタリングを3次元空間上で動的にデンドロ

グラムを表示する。

3. プログラム概要

3.1 プログラム要件

今回のプログラムでは、XY座標を用いて各移動点間の直線距離を計算し、それを用いて最近隣距離法によるクラスタリングを行うものとする。なお、クラスター間の距離算出アルゴリズムにはLW法^{注1)}を用いて構築したため、最遠隣法や群平均法への応用は容易に行える。

クラスタリングにより得られる階層図は、動的な3Dデンドログラムとして表示する。この際、デンドログラムの裾部分は、移動点の位置を示し、Z軸方向はクラスター間の距離を示すものとする（図5 (a)）。

また、解析者の使い勝手を考えると、動的なデンドログラムが表示されている最中に、様々なパラメータを設定できるようにすることが望ましいであろう。特に閾値に関しては、動作実行中に自由に変更し、その閾値を

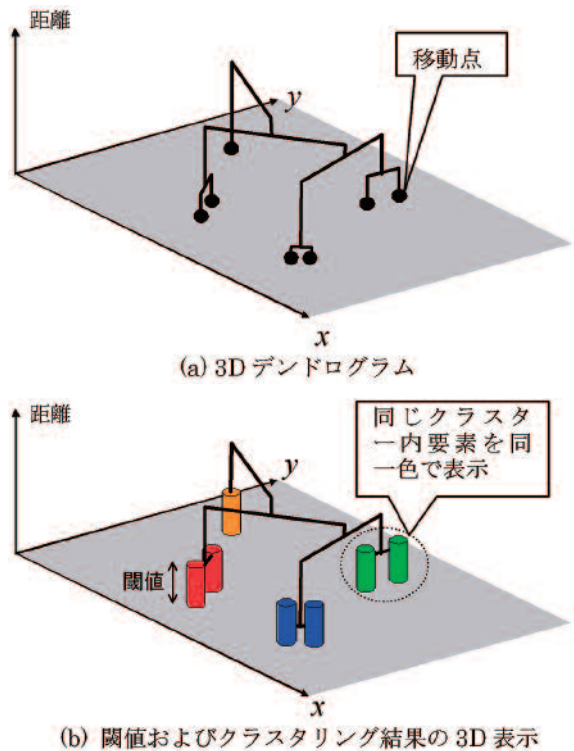


図5 3Dダイナミックデンドログラム

視覚的に見ることが可能なものとする必要がある。更に閾値の設定によりクラスタリングされたもの同士が理解しやすいような表現が必要である。

そこで、図5 (b) に示すように、閾値は移動点上にシリンダーの高さ方向として表示し、クラスタリングされたもの同士を同じ色で表わすようにする。こうすることによって、閾値とクラスタを視覚的に把握することが可能となる。

また、クラスタ化されたもの同士の要素の多さが理解しやすく表示されることが望ましい。そこでクラスタ構成要素の個数を示すために要素を球で表現し、それらを縦方向に積み上げて、同一クラスタ内の重心点に動的に表示するような機能を作成した (図6 (a))。これにより、球の積みあがった高さが高いほど、多く類似点が集中しているということが理解できる。同様な機能として、図6 (b) のような半球の半径を構成要素数に比例するようなボリューム表現も行えるようにした。

なお、開発するプログラム言語としてはMicrosoft社のVisual C#を、3DグラフィックスライブラリとしてDirectX 9.0c^{注2)}を用いた。

3.2 処理フロー概要

以下に本プログラムの大まかな処理フローを示す。

入 力：1レコードあたり、一時点の n 個の移動点分の (x_i, y_i) 座標が登録されているCSVデータおよび閾値 B 。
ここで i は、1から n までの整数である。

出 力：一時点ごとのデンドログラムと閾値によるクラスタリング結果の動的3D表示

STEP1：時系列データファイルから同一時刻

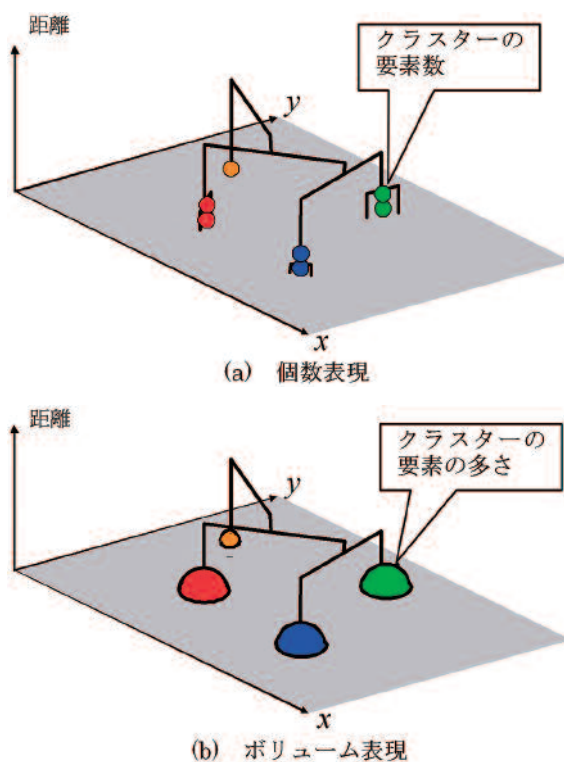


図6 クラスタの要素数表現

の n 個の移動点の座標を配列 (x_i, y_i) に読み込む。データが存在しなければ、その時点でプログラムを終了する。

STEP2：STEP 1で読み取った n 個の (x_i, y_i) 座標データと閾値 B を用いてクラスタリング計算を行う。

STEP3：解析結果 (デンドログラムや閾値を示すシリンダなど) の3Dオブジェクトを作成する。

STEP4：3Dオブジェクトをディスプレイに描画する。

STEP5：STEP 1へ戻る。

4. 時系列移動点データによる適用事例

4.1 時系列移動点データ

本ツールを用いて実際のデータによる動作検証を行った。今回使用したデータは、岡部ほか¹⁾による鶏の行動を記録した時系列移動点データである。

このデータは、18羽の鶏にWifiタグを取り付けて約200m四方の領域内に放し、無線LAN測位システム^{注3)}を用いて約1秒間隔で測位したもので、その計測時間は11,725秒である。この実験では、鶏は実験前に3つの小屋にそれぞれ6羽ずつ飼っており、実験時に鶏を放すことによって、どのような行動を示すかを解析するために行われた。なお、データの詳細は岡部ほか¹⁾を参照されたい。

4.2 ハードウェア環境

本論文で用いたコンピュータのスペックは、OSがWindows XP SP3、CPUがIntel Core2 6700 2.66GHzで、メモリがRAM: 3.25Gbyte、グラフィックボードがNVIDIA社製のQuadro FX 4600である。

4.3 結果と考察

4.3.1 描画速度

前述の計測時間11,725秒のデータに対して、閾値10mの条件でダイナミック階層的クラスタリングを実行した結果、開始から終了まで335秒、つまり35 (=11,725/335) 倍速で描画することができた。

このことから実際に記録した時間より短い時間でダイナミック階層的クラスタリングが可能であり、例えば、本適用事例のように移動点数が少なく、データの取得後にクラスタの把握をする際には、有効なツールになり得ると考える。

4.3.2 ダイナミック階層的クラスタリングの3D表示

図7は閾値10mの条件で、5秒間隔でクラスタリング結果を描画したものである。なお、実際のプログラムでは1秒間隔で高速に描画しているため動きは滑らかである。これらの鶏は、もともと3つの小屋に分かれていたも

のであるが、この図からは3つ以上のグループが形成されており、そのうち二つのグループは鶏の数が多いが、その他は1~2羽で行動していることが直観的にわかる。

また、図の丸枠と四角枠の鶏に注目してみると、まず丸枠の鶏が移動し、赤グループに合流し、続いて四角枠の鶏も同じグループに合流したことが明確に示されていることがわかる。

従来のアニメーション表現では移動点同士の重なり合いにより、鶏がどのようなグループ形成をしているかがわかりづらかったが、本ツールを用いれば、クラスターが同一色で表現されグルーピング形成およびその過程の把握が明確になると考える。

また、図8は図7と同じ時刻の移動点に対し、クラスターを構成する要素数の球を縦方向に積み重ねることによって、鶏の密集度を表現しているものである。先ほどと同様に、丸枠と四角枠の鶏に注目すると、赤グループに合流後、赤グループの球の積みあがり個数がひとつずつ増え、四角枠の鶏が合流後、赤グループの鶏の数が一番多くなったということが明確に見て取れる。

以上のように、本ツールを用いることによって、移動点の行動把握をクラスターという観点から定量的に把握できるようになると考える。

5. おわりに

本論文では、ダイナミック階層的クラスタリングの提案とそのツールの開発を行い、鶏の移動データを用いてその行動把握手法としての可能性を示した。

今回は、移動点が18で少数であったが、今後は、移動点を多くして、その増加に伴う処理低下の検証などが必要である。

また、今回は被験者を募って本ツールによ

り実際に理解しやすいのかどうかという検証は行っていないため、今後、このような客観的な検証を行う必要がある。

このシステムの応用分野としては、ビデオ監視システムなどと連動して、人や物体の行動観察、学校での子供の監視（例えばイジメなど監視）や公共施設でのテロ対策などに応用が可能ではないかと考える。

（発表日2008年6月18日）

■注

- 1) LW法とは、Lance and Williams⁴⁾により提案されたクラスター間距離の算出方法で、ある段階のクラスター形成時のクラスター間距離を算出するのに、その前段階の結合に用いたクラスター間距離と、最近隣法や最遠隣法などにより決定されるパラメータを用いる方法である。詳しくは参考文献²⁾を参照されたい。
- 2) Direct3Dとは、マイクロソフト社が開発したゲームやマルチメディア処理のプログラムを作成するためのライブラリ群であるDirectXの一部で、3次元表示を行うためのものである。
- 3) AeroScout社のWi-Fiアクティブタグを使用。試験領域に無線LANのアンテナを設置し、このタグを鶏に背負わせて測位した。<http://www.aeroscout.co.jp/>参照（2009年現在）

■謝辞

本研究を進めるにあたって、貴重なコメントをいただいた東京大学の岡部篤行教授に、ここで感謝の意を表す。また、当研究で用いた鶏の行動データはHuman-Chicken Multi-relationship Research (HCMR) Project（代表：秋篠宮文仁殿下）によるものである。

■参考文献

- 1) 岡部篤行、佐藤俊明、岡部佳世、今村栄二、Morathop, S., Jailangka, C., Ratanassermpong, S., 林良博、秋篠宮文仁：無線位置システムによる放飼鶏の軌跡データ取得とその空間分析、地理情報システム学会講演論文集、Vol.15、pp.395-400、2006
- 2) 齋藤堯幸、宿久洋：関連性データの解析法—多次元尺度構成法とクラスター分析法—、共立出版社、2006
- 3) 佐藤俊明、岡部篤行：地理情報システム学会講演論文集、Vol.16、pp.3-146、2007
- 4) Lance, G. N. and Williams, W. T.: A general theory of classificatory sorting strategies I. Hierarchical systems, Computer Journal, 9, pp.373-380, 1967

■発表者紹介

佐藤 俊明（さとう としあき）
株式会社パスコ 研究開発センター
E-mail: tuoost7017@pasco.co.jp

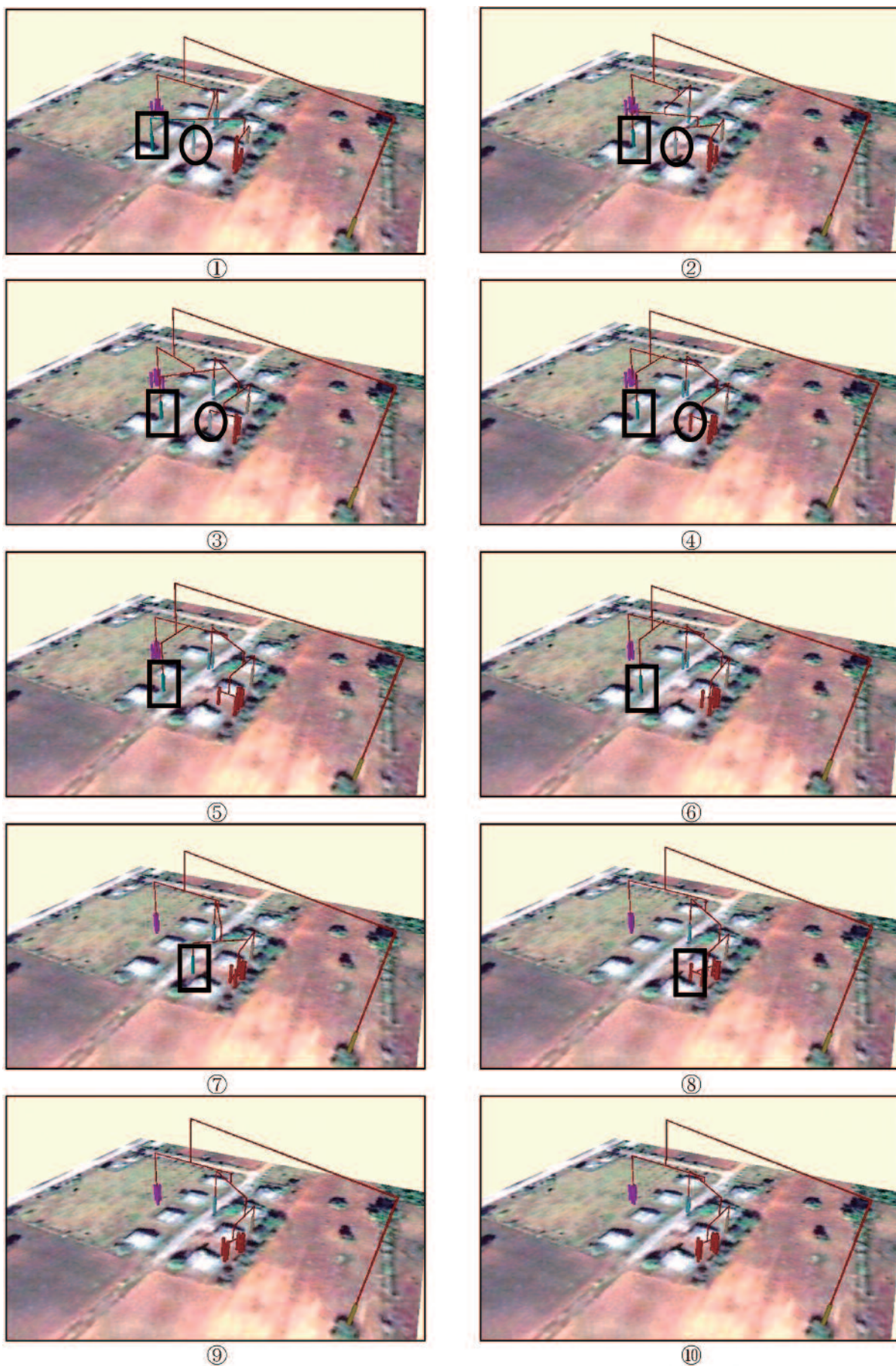


図7 ダイナミック階層的クラスタリング（番号順に動的に高速描画）

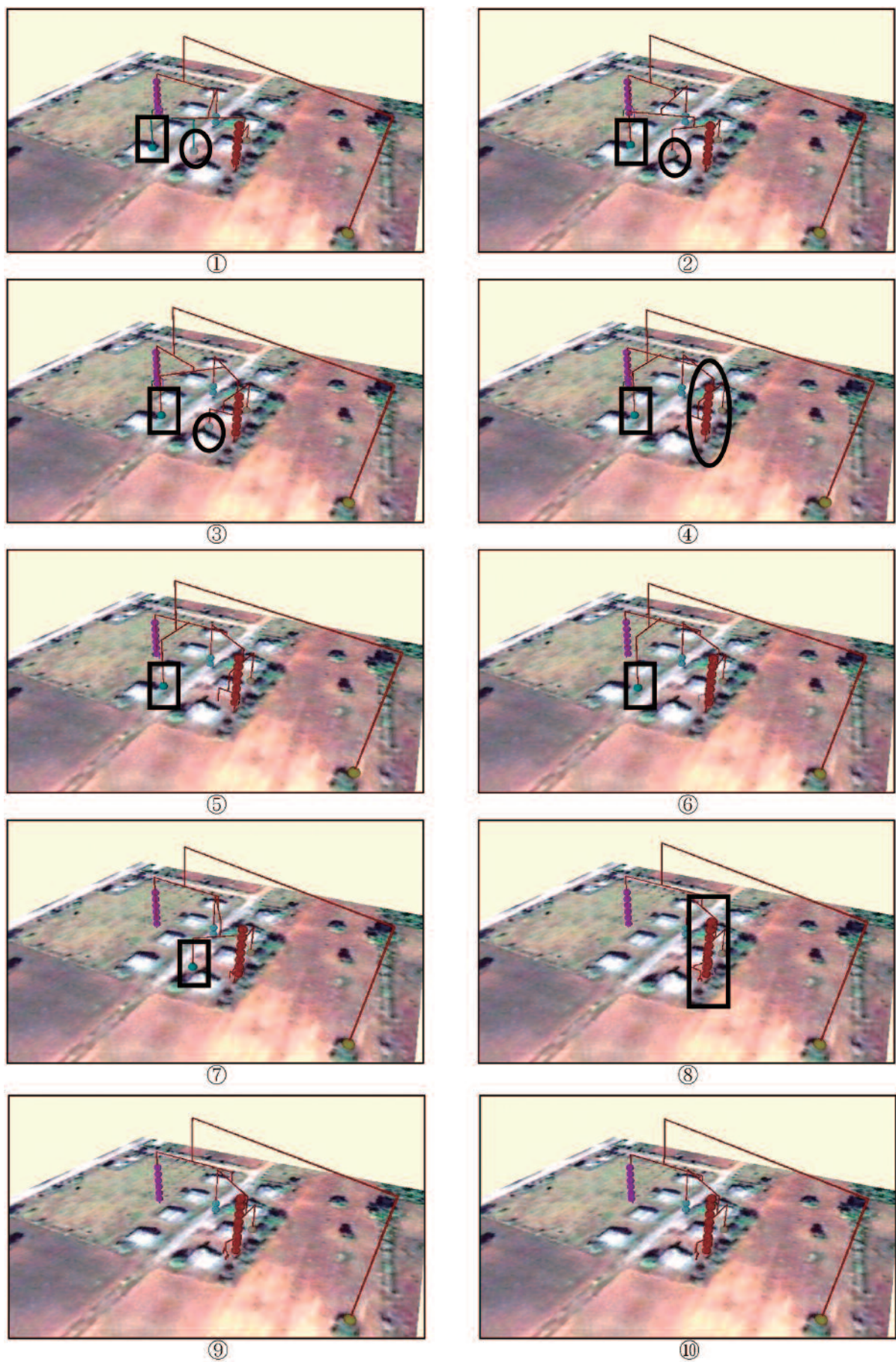


図8 ダイナミック階層的クラスタリングの要素数表現