

時刻付きデータの可視化

三末 和男

各種ログデータやセンサーによる計測データなど、時刻が附随するデータや時刻を参照するデータのうち、時刻データを主たる対象として捉えた可視化手法を解説する。時刻は非常に身近なデータである一方で、さまざまな性質を備えるため、その可視化手法も多様である。特に、時間は過去から未来へと後戻りなく進む線形性と、1日や1カ月など一定の長さで繰り返される周期性を備えるため、読み取りたい情報によって適切な手法が異なる。棒グラフや折れ線グラフなどの古典的な手法から解説を始めるが、それらの特徴を踏まえて、新しい手法も紹介する。後半では、時刻データの分布の特徴把握を助けるために筆者らが開発した ChronoView を、入院患者の行動履歴を対象とした可視化事例を交えて紹介する。

キーワード：情報可視化、時刻付きデータ、時刻パタン

1. 時刻付きデータとは

膨大な数の事象が日々発生している。Web ページへの訪問、SNS への投稿、商品の購入、電車の乗り降り、写真の撮影など、枚挙にいとまがない。そして、それらは時刻（タイムスタンプ）とともに記録され、蓄積されている。気温や人口密度といったデータは時間とともに変化する。それらに普遍的な値は存在せず、ある「時刻」における値が存在する。そのような値の変化に着目したとき、それらは時刻を参照するデータと言える。このような、時刻が附随するデータと時刻を参照するデータをここではまとめて「時刻付きデータ」と呼ぶことにする。センサーデータや気象データなど、時刻とともに値が変化するデータは、しばしば「時系列 (time-series) データ」と呼ばれる。そのようなデータもここで言う時刻付きデータに含める。

1.1 時刻と時間

時刻と時間に関連しているが異なる概念であることを再確認しておこう。それらの区別は日常生活においてはかなり緩く、「電車の出発時間」というような表現を耳にすることも多い。データを扱う立場では、これらの区別を明確にしておく必要がある。時刻は間隔尺度であり、2時を3倍するというような演算は行えない。その一方で時間は比例尺度であり、2時間は3倍すると6時間になる。スケールは異なるが、年月日も時刻を表す単位と言える。本稿では「時刻」を扱う。時間は比例尺度であるので、量的な側面にだけ興味があ

る場合は比例尺度に適した表現手法を利用できる¹。

1.2 時刻データの種類の

時刻付きデータに附随する、あるいは時刻付きデータが参照するデータを「時刻データ」と呼ぶことにする。時刻データはその捉え方によって、下記のように分類できる。

- 順序データ（広義の時刻データ）
- 量的データ（間隔尺度）
 - ・ 線形性を備えた量的データ
 - ・ 周期性を備えた量的データ

順序データも広義には時刻データとみなすことができる。たとえば、「Aさんの到着の後にBさんが出発する」というように、事象の相対的な順序だけに関心がある場合には、順序データとして扱うことが合理的であろう。しかしながら、時刻データを扱いたい場合の多くは、それらを量的データとして扱いたい場合と思われる。その場合でも、2通りの捉え方がある。一つは線形性を備えた量的データとして捉えるものである。この場合には、時間が過去から未来へと後戻りなく進むものとして扱う。もう一つは周期性を備えた量的データとして捉えるものである。こちらの場合には、時間は、1日、1カ月などの周期をもって繰り返される。

2. 時刻付きデータの可視化手法

時刻付きデータの表現手法は、時刻データの種類によって分類することができる。つまり、順序データとしての表現、線形性を備えた量的データとしての表現、周期性を備えた量的データとしての表現の3種類に分類できる。

みすえ かずお
筑波大学システム情報系情報工學域
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
misue@cs.tsukuba.ac.jp

¹ たとえば伊藤貴之氏によって解説されている高次元データの可視化など。

また別の観点では、時刻データを主たる対象として表現するか、あるいは別のデータに附随するデータとして表現するかによっても表現手法として取れる方法が違って来る。時刻データを主たる対象として表現する場合には、時刻データの表現のために表現空間を自由に使用できる。たとえば、時刻を表す座標軸を表現空間内の好きな場所に配置できる。その一方で、変化する地理情報（時空間データ）や変化するネットワーク（動的グラフ）など、ある別のデータに附随するものとして時刻データを表現する場合には、主たるデータが利用する表現空間の残りを時刻データに割り当てなければならないという難しさがある。本稿では時刻データを主たる対象とする場合に焦点を合わせる。時空間データの可視化については、本特集に含まれる伊藤正彦氏による解説を参照されたい。また、動的ネットワークの可視化についてはたとえば解説 [1] がある。

時刻付きデータの可視化手法には古くよりさまざまなものが用いられている。文献 [2] (p. 16) には 10～11 世紀に描かれたとされる惑星の運行図が紹介されている。これは今で言う折れ線グラフである。同書ではこのような古典的なものから新しいものまでさまざまな可視化手法が紹介されている。ここでは、それらの可視化手法から線形性と周期性の二つの特徴に着目して代表的なものを紹介する。既知の手法も多いだろうが、それらの特徴を再確認しておきたい。

2.1 線形性に着目した可視化手法

線形性に着目した可視化手法には、平面上に時間軸を描くものが多い。

2.1.1 ストリップチャート

1 次元の散布図は「ストリップチャート」とも呼ばれる。時間軸を描いたストリップチャートは、時刻データの線形性に着目した最も素朴な可視化手法と言える。事象を表す点を発生時刻によってプロットすることで、発生時刻の分布や特徴などを観察することができる。素朴な手法であるが、直感的で理解しやすいためさまざまな場面で利用されている。図 1 は、三つの製品 P1, P2, P3 の販売時刻をストリップチャートで表したものである。三つの製品が販売時刻の分布に関してそれぞれ異なる特徴をもっていることがわかる。ただし、ストリップチャートでは事象の数が多くなると、事象を表す点が重なり、個々の点の識別が困難になる。

2.1.2 棒グラフ

データを集約してから可視化することもしばしば行われる。時間軸を離散化して事象の発生頻度を集計する方法は、事象の数が多き場合には特に有効である。集

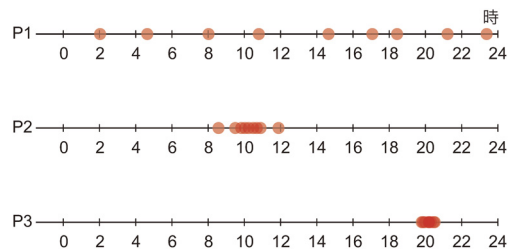


図 1 ストリップチャートによる可視化例

約された時刻付きデータの可視化には、たとえば棒グラフが用いられる。棒グラフはさまざまなデータに適用できる汎用的な手法であり、時刻付きデータの可視化にも用いられることも多い。なお頻度以外の値を表すこともできるが、棒の長さで値を表すため対象データが比例尺度でない場合には誤解を生む危険性がある。

2.1.3 折れ線グラフ

折れ線グラフは、10～11 世紀に描かれたものがあるように、時系列データの代表的な可視化手法と言える。棒グラフの代わりに用いられることも多いが、気温のように時刻に対して連続的に値が変化するようなデータの表現に適している。

折れ線グラフは一つの表現領域に複数の系列を表現することができる。しかしながら系列の数が多くなると、色や線種を変えても視覚的な混雑が避けられない。視覚的な混雑を避けるための一つの方法は、系列ごとに表現領域を分けることである。このような方法は Small Multiples [3] (pp. 67–70) と呼ばれ、情報可視化でしばしば用いられる手法である。視覚的な混雑は回避できるが、一つの系列が利用できる表現領域が狭くなるため、表現上の精度（解像度）が低下するという欠点がある。

2.1.4 面グラフ

面グラフ（エリアチャート、シルエットグラフ）は折れ線の下側（あるいは上側）を塗りつぶしたもので折れ線グラフの変形とみなすこともできる。線の片側を塗りつぶすことで、小さい領域に描いた場合でも形状の視認性が高くなる。そのため、多くの系列を狭い表現領域で表す際には、折れ線グラフよりも都合がよい。ただし、塗りつぶしは視認性を高める一方で、読み手に面を印象づける。そのことから読み手は面積が値を表現しているように感じるため、棒グラフと同様に対象データが比例尺度でない場合には誤った印象を与える危険性がある。

2.1.5 積み上げ面グラフ

積み上げ面グラフは、複数の系列を同じ表現空間で

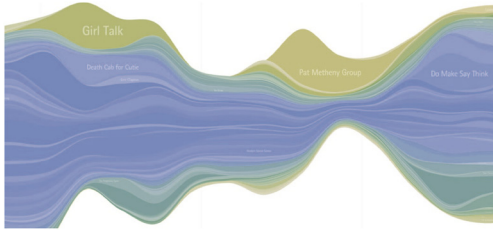


図2 Streamgraphによる可視化例 [5]. ある個人が聴いた楽曲のアーティスト別頻度の推移（許可を得て転載）

同時に表現するものである。ある系列を表す面グラフの縦軸方向（縦軸で時間軸を表すこともあるが、ここでは横軸で時刻を表すとしよう）上側に別の系列を積み重ねて表現する。縦軸の値を読み取れば、それよりも下の系列の値の和がわかる。つまり加法が意味をなすデータにだけ利用できる手法であり、面グラフにおけるデータの制約をより厳密に考慮する必要がある。上側の系列の縦軸方向の変動は、下側の系列の影響を受けるため、その系列単独の値の変化を観察したい場合には、順序を入れ替えて下側に配置するなどの工夫が必要である。

2.1.6 ThemeRiver/Streamgraph

積み上げ面グラフで表現された各系列の視認性の問題を解決するとともに、ある種のデータのもつ連続性のような性質を視覚的に表現するために、積み上げ面グラフの変形が提案された。ThemeRiver [4] は、横軸（時間軸）の上に積み上げるのではなく、横軸の上下に対称に描くとともに、境界線を折れ線ではなくなめらかな曲線にしている。Streamgraph [5] (図2) では上下の対称性にはこだわらず、むしろ小刻みな揺れを減らすことでよりなめらかな流れを実現している。

2.1.7 Braided Graph

積算量に興味があるのであれば、積み上げ面グラフやその拡張手法が有効であるが、系列間の比較がしたい場合には、面グラフを重ねるほうがわかりやすい。当然のことながら背面の系列は見えなくなるため、値の小さい系列を前面に配置する必要がある。ただし、一般的には時刻によって大小の順位が変わるため、値が小さくなった時間帯は隠れて見えなくなる。そのような問題を解決するのが、Braided Graph [6] (図3) である。Braided Graphでは複数系列の面グラフを重ねるが、値が小さい系列が常に前面に配置される。そのためどの時点でもすべての系列を読み取ることができる。

2.1.8 二色塗り分け疑似カラー表示/Horizon Graph

系列ごとに表現領域を分離しようとする、一つの

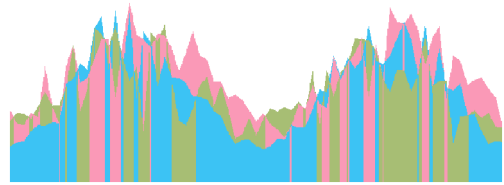


図3 Braided Graphによる可視化例. 札幌 (青), 東京 (緑), 那覇 (赤) の平均日照時間の2年間の推移

系列が利用できる領域が狭くなるため、表現上の精度が低下する問題がある。そのような問題への対策として、二色塗り分け疑似カラー表示 (Two-tone Pseudo Coloring) [7] がある (図4)。色と位置を利用した値の表現方法であり、一つの値は2色で塗り分けられた一つの縦線で表される。たとえば、すべて青なら0、上から1/2が青で残りが緑なら5、すべて緑なら10、上から1/2が緑で残りが黄なら15のように、2色の組み合わせと、境界の位置が値を表す。そのような縦線を横方向に配置することで、何段かに折り重ねられた面グラフのような図形が得られる (Horizon Graph [8] はむしろ面グラフを重ねたものとしている)。縦方向に狭い領域であっても、折り重ねる前と同じ精度で値を表すことが可能である。

2.2 周期性に着目した可視化手法

周期性に着目した可視化手法では時間軸の描き方に工夫がある。

2.2.1 スパイラルチャート

線形性は気にせず周期性だけに着目すればよい場合には、円周状の時間軸が利用できる。周期性とともに線形性も考慮したい場合、たとえば周期性を考慮しながらも長期的なトレンドを観察したい場合には、螺旋が用いられることが多い。Tominski and Schumanr は二色塗り分け疑似カラー表示を用いたグラフを螺旋状に配置する手法 Two-tone Spiral Display を提案した [9]。図5は、10年分の温度変化を二色塗り分け疑似カラー表示を用いて表現するとともに、時間軸を1年周期の螺旋にしたものである。螺旋の外側に配置したラベルは月を表しており、内側から外側に向かって時間が進んでいるため、中心から外に向かう変化を観察することで、トレンドを把握することができる。

2.2.2 タイルマップ

気温は1年周期で変化するとともに、細かく見れば1日周期でも変化している。社会生活を営む人間の行動に目を向けると、1日周期、1週間周期、1カ月周期などさまざまな長さの周期が混在している。このように混在した周期は円周や螺旋の時間軸だけではうまく

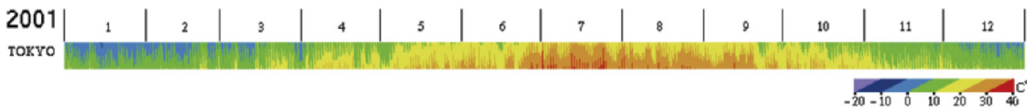


図4 二色塗り分け疑似カラー表示による可視化例 [7]. 東京の6時間ごとの気温1年分(許可を得て転載)

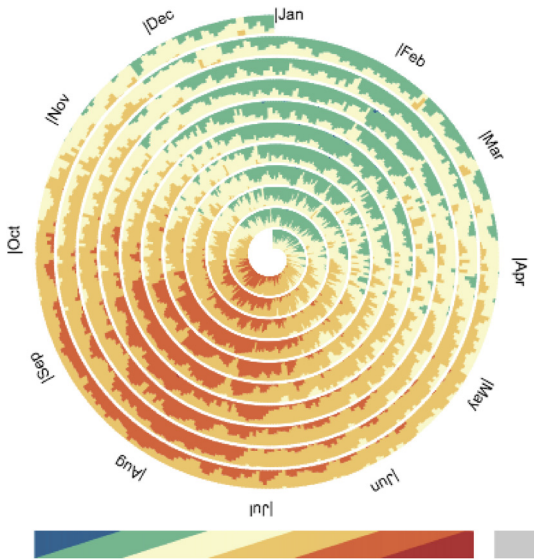


図5 Two-tone Spiral Display による可視化例. つくば市の1日ごとの平均気温10年分

く表現できない. タイルマップ [10] は格子状に配置したタイルの色で値を表現する可視化手法である. タイルの配置を工夫することで, 複数系統の周期性を表現することができる. 図6は, タイルマップを用いて1日ごとの電力使用量8年分を可視化したものである. 大まかには8個(8年分)のかたまりがあり, それぞれが1年分のデータを表している. 1年分のデータは365あるいは366個のタイルで構成されており, タイルは縦方向に日曜日から土曜日まで7個並んでいて, 左から右へと週が進む. 細かい周期から見ると, 各年の最上段と最下段の行は色が暗い. このことから週末の電力使用量が少ないことが読み取れる. 1年のなかでは, 冬(1~2月)と夏(7~8月)の使用量が多いことがわかる. 年単位のトレンドに着目すると, 2011年3月の震災後に電力使用量が大幅に減っていること, さらにその後減少傾向にあることもよくわかる.

3. ChronoView: たくさんの時刻パタンの把握を助ける可視化

関心の対象が値の変化よりも発生時刻の分布にあることも多い. 図1を見ると, P1は特定の時間帯に集中することなく1日中売れている, P2は午前中にだ

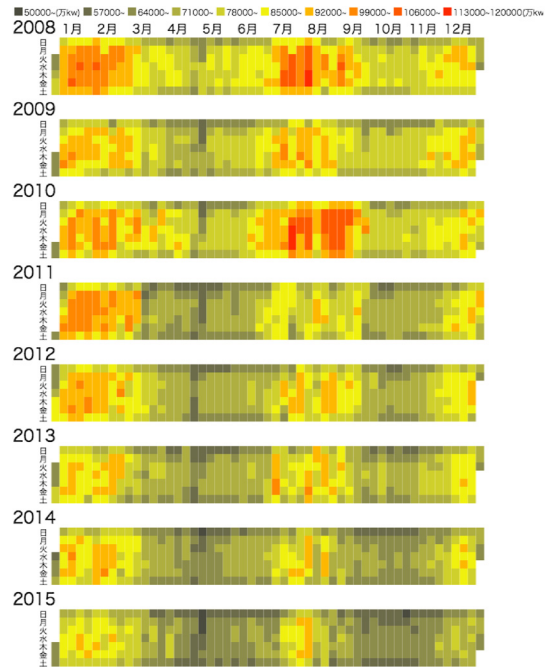


図6 タイルマップによる可視化例. 1日ごとの電力使用量(東京電力)8年分

け売れている, P3は午後8時頃にだけ集中して売られている. このような時刻データの分布の特徴を「時刻パタン」と呼ぶことにする.

3.1 時刻パタン可視化の課題

製品ごとの販売履歴に限らず, 顧客の動向把握, 事故の発生防止, サイバー攻撃対策など, さまざまな場面において時刻パタンの観察は重要と考えられる. 製品販売に例を戻すが, 一つの製品の時刻パタンに関心があるのであれば, ストリップチャートや棒グラフなど素朴な手法を用いるとよい. しかしながら, 数十から数百種類の製品の時刻パタンを観察したい場合はどうであろうか.

これまでに紹介した可視化手法では, 多くの時刻パタンを観察するには二つの問題がある. 一つは, 時刻パタンが少なからず領域を占めるという問題である. 素朴な視覚的表現は, それぞれ無視できない領域を占めるため多くの時刻パタンを視覚的に一覧することが困難である. もう一つは, 時刻パタン間の特徴を見つけるのが難しいという問題である. 高精細な大画面デ

スプレイを利用して、あるいは二色塗り分け疑似カラー表示のような空間効率のよい手法を利用して、視覚的表現を大量に表示できたでしょう。しかし、それらの視覚的表現を単に敷き詰めただけでは、類似パターンや異常パターンなどの特徴の発見を積極的には助けてくれない。そのような視覚的表現からパターン間の特徴を見つけることは、「まちがい探し」に似ている。

Shneiderman が視覚的情報探索のマントラ「Overview first, zoom and filter, then details-on-demand」[11]で言及しているように、視覚的表現を利用したタスクの初期段階ではデータの適切な概観が欠かせない。このマントラを製品の時刻パタンの観察という観点で捉えると、まず全製品の時刻パタンを粗く観察し、そこから気になる製品を探して、個々の製品の詳細な観察へと進んでいくということである。われわれは、時刻パタンの観察あるいは分析における Overview first を支援するための可視化手法を開発し、「ChronoView」と名づけた。

3.2 ChronoView の基本的な考え方

同じ性質をもつ事象のグループ（あるいは集合）を「事象群」と呼ぶことにする。たとえば、販売履歴から製品 P1 の販売日時だけを取り出すと、P1 に関する事象群になる。ChronoView では、一つの事象群は以下のような手順で 2 次元平面上に配置される。

1. アナログ時計のような文字盤を考える。図 7 はその例であり、周期を 24 時間としている ($c = 24 \text{ h}$)。
2. 各事象をその発生時刻によって文字盤の円周上に仮に配置する。
3. 事象群をそのグループに含まれる事象の重心に配置する。

たとえば、三つの事象群 A, B, C があるとして、事象群 A は 1 時に発生した一つの事象だけを含む。事象群 B は 4 時と 8 時に発生した二つの事象を含む。事象群 C は 12 時、18 時、20 時に発生した三つの事象を含む。これら三つの事象が図 7 に示すように配置される。ある一部の時間帯に集中して発生した事象は文字盤の縁近くに配置されるが、時刻に偏りなく発生した事象は中心寄りに配置される。さらには、文字盤の中心から見た位置がおおよそその平均的な時刻を表している。

3.3 ChronoView の定式化

関数 f_0 で一つのタイムスタンプの円周上の位置を表そう。関数 f_0 はすべてのタイムスタンプを、 t_0 からの経過時間によって、円周上に時計回りに配置する。すべてのタイムスタンプの集合を U で表すとすると、

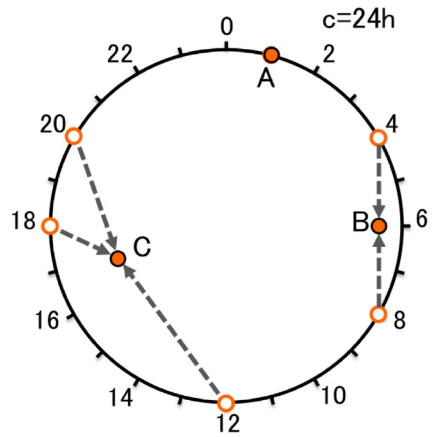


図 7 ChronoView の配置規則

一つのタイムスタンプの位置は、関数 $f_0 : U \rightarrow R^2$ によって次のように表される。

$$f_0(t) = (r \cos \theta_t, r \sin \theta_t) \quad (1)$$

ここで r は文字盤の半径である。また、周期が c であるとき、 θ_t は次のように表される。

$$\theta_t = \frac{\pi}{2} - 2\pi \frac{t - t_0}{c} \quad (2)$$

いま E を一つの事象群（事象の有限集合）、すなわち $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ としよう。また、 $t(e)$ で事象 e のタイムスタンプを表そう。関数 f は一つの事象群を取りその位置を返すとする。その位置はグループに属す事象の位置 $t(e_i)$ ($i = 1, \dots, n$) の重心である。事象群の位置は関数 $f : 2^U \setminus \{\emptyset\} \rightarrow R^2$ によって次のように表される。

$$f(E) = \frac{1}{|E|} \sum_{e \in E} f_0(t(e)). \quad (3)$$

3.4 ChronoView の特長と制限

ChronoView の最も重要な特長は、時刻集合を 2 次元平面上の位置で表現することである。このことはいくつもの利点を導く。

- 時刻パタンの特徴の読み取りが容易：位置による表現により、分布、関係、変化が読み取りやすい。
- 視覚的表現の空間効率がよい：一つの時刻パタンは点で表現される。面積などの属性を補助的に利用することができる。
- 密度表現への移行が可能：時刻パタンを位置で表現したことで、さらに大量の事象群を表現する必要が生じた際に、ヒートマップのような密度表現への移行が可能である。

残念ながら ChronoView には制限もある。時刻集合

を2次元平面上の位置で表現することは、一種の次元圧縮であり、結果的に表現としてのあいまいさを抱えている。二つの類似した時刻パターンが互いに近くに配置されることはよいが、その一方で近くに配置された二つの時刻パターンは必ずしも似ていない可能性がある。この問題について、われわれはプロットする点を、グリフに拡張するなどの対策を試みている。たとえば、円の代わりに24次元データを表現できるグリフを利用すれば、グリフに着目するだけで1時間ごとの頻度を観察できる² [12]。

3.5 表現の拡張

文字盤上に配置する円の大きさによって事象の発生頻度を表現することにした。面積の大きいものほど頻繁に発生したことを表す。事象の種類が多くなると円が重なり合うため半透明色で塗りつぶすことにした。これにより、密集した部分ほど明るく見える。事象群をさらに複数に分割して表示することも可能である。たとえば、平日の事象群と休日の事象群を別の事象群として扱うことで、平日と休日の時刻パターンの比較が可能になる。ほかにも曜日ごとや、ある時点の前後などさまざまな分割が考えられる。事象群を表す円は、そのグループに属す事象の重心、すなわち位置的な平均に配置されており、平均的な発生時刻を表している。過去一定期間の平均を表すことにすると、アニメーション等により移動平均を表すこともできる。それにより、事象の平均的な発生時刻の変化を観察することも可能になる。

4. ChronoView の適用例

筑波大学附属病院には約30の診療グループがある。利用したデータは2010年4月から2012年3月のもので、当時は病棟数23、ベッド数約800であった³。2年間にわたる患者の移動記録データから、事象群の時刻パターンを抽出し、それらをChronoViewで可視化した。詳細は文献[13]を参照されたい。

4.1 特異パターンの発見

図8は、患者の入院時刻を診療グループごとにまとめたもの（つまり、一つの診療グループへの入院を一つの事象群としたもの）を、24時間周期で表示したものである。データの範囲は2010年4月1日から6月30日の3カ月間である。円が一つの診療グループを表している。ほとんどの診療グループの円が10時頃

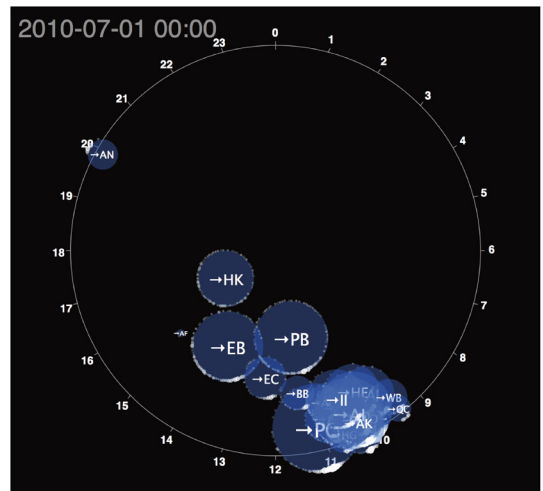


図8 診療グループ別の入院時刻パターン

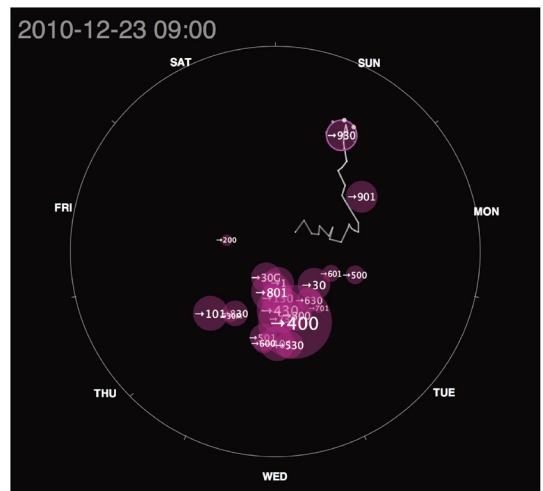


図9 病棟別の転棟時刻パターン

に集中していることから、多くの診療グループにおいて、計画された入院が午前中に行われることを示している。その一方でAN（睡眠）グループは20時頃に集中している。これは睡眠グループの入院がほぼすべて検査入院であることを示している。HK（救急）グループ、PB（産）グループは文字盤の中心寄りにプロットされている。これらは1日の時間帯に依存しないで入院が発生していることを示しており、診療グループの特徴を考えると当然と言える。EB（小児内科）グループも文字盤の中心に近い位置にプロットされている。このグループも時間帯にあまり依存していないと考えられる。

4.2 変化の発見

図9は、入院患者の転棟日時を移動先の病棟ごとに

² 図8でも、円の周囲に個々の時刻を表す点を配置している。

³ 2012年9月に新棟ができたため、現在の数とは異なる。

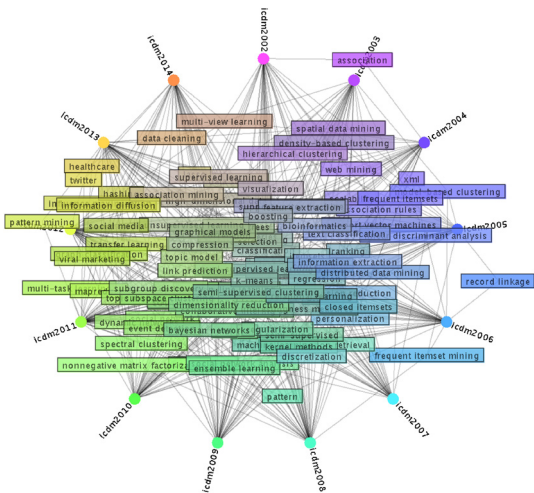


図 10 アンカーマップの例. 国際会議 ICDM の開催年とキーワードの関係

まとめたもの（つまり，一つの病棟への移動を一つの事象群としたもの）を，1 週間周期で表示したものである．範囲は 2010 年 9 月 23 日から 12 月 23 日の 3 か月間である．さらに，930 病棟の移動履歴を線分で表示している．930 病棟が中心付近から SUN（日曜日）の方へ移動していることがわかる．続くデータを観察すると，その後また中心付近に戻っており，930 病棟への転棟が 2010 年秋～冬頃だけ日曜日に集中していたことがわかる．

5. 関連技術

ChronoView は Paley によって開発された TextArc [14] に似ている．TextArc は文章とそこに出現する単語の関係を可視化したもので，文章中の文を出現順に楕円状に 0 時の位置から時計回りに配置し，単語をその単語が出現した文の重心に配置する．出現頻度の高い単語ほど明るく表示することで目立たせている．

2 部グラフのレイアウト手法であるアンカーマップ [15] (図 10) とも部分的に似ている．アンカーマップは無向グラフのレイアウトに広く用いられているスプリングモデルの変形である．2 部グラフの一つのノード集合に含まれるノードを円周上にアンカーとして配置し，もう一つの集合に含まれるノードをアンカーによって引っ張り合いをさせる．たとえば，販売時刻と商品の関係を表す 2 部グラフを対象にした場合，販売時刻を円周上に配置した図は ChronoView に似ている．ただしアンカーマップでは必ずしもノードに時刻順の制約がない．

RadViz は多次元データの可視化手法である [16]．ア

ンカーマップのアンカーが次元に相当し，各次元に対応したスプリングによってプロットする点の位置が決める．対象データがグラフではないため，エッジは表示されない．円周上に配置された次元の順序を適切に選ぶことで多次元データの成すクラスタ構造などを顕在化できる．ChronoView は RadViz の次元を時間軸にしたものとも言える．しかしながら，ChronoView で表現される時間軸は連続であり，また順序に制約があることから，RadViz の技術をそのまま流用することは難しい．

6. おわりに

時刻付きデータの可視化手法について，ごく一部ではあるが，古典的なものから比較的新しいものまで特徴的な手法を解説した．また，筆者らが開発した ChronoView を紹介した．ChronoView はたくさんの時刻パタンの概観を提供するための可視化手法であり，時刻付きデータの分析の上流において有用な情報を提供するものとして期待できる．

謝辞 ChronoView は白井智子氏が筑波大学大学院システム情報工学研究科在籍中に修士研究の一環として開発したものである．入院患者のデータへの ChronoView の適用は，筑波大学の高木英明名誉教授の協力によって実現した．図 5 および図 6 は筑波大学情報メディア創成学類における 3 年生の実験課題の一環として製作されたものである．関係諸氏にご協力いただいたことに深く感謝いたします．

参考文献

- [1] 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，**92**，pp. 112–117，2009.
- [2] W. Aigner, S. Misch, H. Schumann and C. Tominski, *Visualization of Time-Oriented Data (Human-Computer Interaction Series)*, Springer, 2011.
- [3] E. R. Tufte, *Envisioning Information*, Graphics Press LLC, 1990.
- [4] S. Havre, B. Hetzler and L. Nowell, “ThemeRiver: Visualizing theme changes over time,” In *Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization 2000 (INFOVIS 2000)*, pp. 115–123, 2000.
- [5] L. Byron and M. Wattenberg, “Stacked graphs: Geometry & aesthetics,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **14**, pp. 1245–1252, 2008.
- [6] W. Javed, B. McDonnell and N. Elmqvist, “Graphical perception of multiple time series,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **16**, pp. 927–934, 2010.
- [7] T. Saito, H. N. Miyamura, M. Yamamoto, H. Saito,

- Y. Hoshiya and T. Kaseda, “Two-tone pseudo coloring: Compact visualization for one-dimensional data,” In *Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS 2005)*, pp. 173–180, 2005.
- [8] S. Few, “Time on the Horizon,” *Visual Business Intelligence Newsletter*, Perceptual Edge, 2008. http://www.perceptualedge.com/articles/visual_business_intelligence/time_on_the_horizon.pdf (2017年9月14日閲覧)
- [9] C. Tominski and H. Schumann, “Enhanced interactive spiral display,” In *Proceedings of the Annual SIGRAD Conference, Special Theme: Interactivity*, pp. 53–56, 2008.
- [10] D. Mintz, T. Fitz-Simons and M. Wayland, “Tracking air quality trends with SAS/GRAPH,” In *Proceedings of the 22nd Annual SAS User Group International Conference (SUGI97)*, pp. 807–812, 1997.
- [11] B. Shneiderman, “The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations,” In *Proceedings 1996 IEEE Symposium on Visual Languages*, pp. 336–343, 1996.
- [12] 白井智子, 三末和男, 田中二郎, “大量の時刻情報付きデータを分析するための可視化ツール,” 第20回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2012), pp. 163–164, 2012.
- [13] K. Misue, Y. Kanai and H. Takagi, “Visualizing the overview of temporal patterns of patients’ activities,” In *2013 Workshop on Visual Analytics in Healthcare (VAHC 2013)*, pp. 11–14, 2013.
- [14] W. B. Paley, “TextArc: Showing word frequency and distribution in text,” In *Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS 2002), Poster Compendium*, 2002.
- [15] K. Misue, “Anchored map: Graph drawing technique to support network mining,” *IEICE Transactions on Information and Systems*, **E91-D**, pp. 2599–2606, 2008.
- [16] P. Hoffman, G. Grinstein, K. Marx, I. Grosse and E. Stanley, “DNA visual and analytic data mining,” In *Proceedings of the 8th Conference on Visualization ’97*, pp. 437–441, 1997.