

時間的変化を伴う事象の詳細と概観の表現手法に関する研究*

6B-1-02

高嶋 章雄^{1,2} 山本 恭裕^{1,3} 蔵川 圭¹ 中小路 久美代^{4,2,1}¹奈良先端科学技術大学院大学 ²科学技術振興事業団 PRESTO³日本学術振興会 ⁴株式会社 SRA 先端技術研究所

1 はじめに

近年の計算機性能の向上に伴い、映画やアニメーションなどの動的に表示される情報をユーザが手軽に扱うことが可能となっている。このような動画像には、映画のようにすでに記録されている情報を単に再生することに意味があるものだけでなく、シミュレーション結果や事象の変化を記録し、データ分析などで内容を深く理解することを目的とする動画像も少なくない。たとえば、バスケットボールの試合である選手が得点するに至った経緯を、記録された動画像をもとに観察することを想定する。シュートを放つまでに選手が走った道筋や放たれたボールの弾道などを把握するためには、ある程度以上の再生速度で変化の流れをつかむ必要がある。一方、足や腕の曲げ具合などのシュートフォームやボールにかけられた回転などを理解する際には、比較的遅い再生速度でなければ詳しく観察することができない。このように、時間的変化を伴った事象から得られる情報は、事象を再現する際の手法によって大きく変化する。既存の動画像ビューワのコントローラにおいては、再生速度を変化させることを主たる目的としているものは少なく、分析プロセスを支援するのは困難である。

本論は、このような時間的変化を伴う事象の詳細

と概観を提供する枠組みとそのためのプロトタイプシステムについて述べるものである。ここで、時間的変化を伴う事象を計算機上で表す情報としては、実際に起こった事象の視覚的な変化を記録したものや、シミュレーションなど実際に起こり得る事象を視覚的な変化として表現したものを想定し、その事象が完結するまで時間の流れ方を変化させずに記録・表現したものとする。本研究では、静的な情報の詳細と概観を表現する手法を、時間的変化を伴う事象に対して適用するという手法をとる。

静的な情報に対しては視覚化の研究が広く行われており、内容の理解を助ける手法のひとつとして、情報の詳細と概観を同時に表現するものがある。すべての情報を詳細までディスプレイ上に表示することは情報量が増えるにつれて困難となるが、ユーザが情報の全体像を捉えておくことは内容を理解する上で非常に重要であると考えられる。ある一部分に注目するだけでなく、注目していない部分の状態もユーザの目の届く範囲に表示しておくことで、更なる情報の理解が期待される。このような要件を満たすための視覚化手法として、Overview+Detail や Focus+Context などが挙げられる[1]。図 1 は空間を利用してそれぞれの手法を実現するモデルの一例であるが、これらの手法はいずれも、詳細として空間の一部を拡大し、概観として注目されていない範囲も表示するものである (ここでの空間とは、情報視覚化の際にディスプレイ上に作られる空間を指し、表示される元の情報が空間的な意味を持つとは限ら

* Representing and interacting with temporal data through Focus+Context of time

Akio Takashima^{1,2} Yasuhiro Yamamoto^{1,3}

Kei Kurakawa¹ Kumiyo Nakakoji^{4,2,1}

¹Nara Institute of Science and Technology

²PRESTO, JST

³Japan Society for the Promotion of Science

⁴SRA Key Technology Laboratory, Inc.

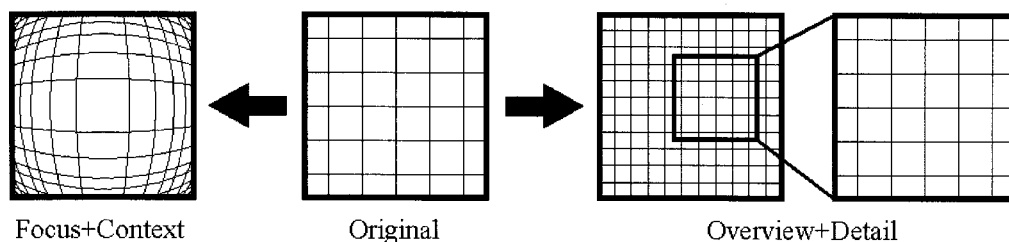


図 1：空間を利用した詳細と概観の表現手法

ない). また, 詳細として注目したい部分をインタラクティブに変更して拡大することができ, ユーザの興味の推移にあわせて情報を提示することができる. 特に Focus+Context 手法においては, 空間を歪めることによりひとつのウィンドウ内に詳細と概観を表現しており, ツリー構造やネットワーク構造など階層的なつながりのある情報に対して, 効率のよい検索が行えるという報告もされている[2].

本稿ではまず, 詳細と概観を表現するために利用する時間スケールについて述べる. 情報の理解を深めるため Focus+Context 手法に着目し, 空間を利用した場合の実現方法をもとに, 時間スケールを利用した場合どのような表現が可能であるか, またそのために必要となる機能について説明する. それをもとに構築したプロトタイプシステムについて述べ, まとめる.

2 詳細と概観の表現

2.1 時間スケール

前章で述べたように, 情報の詳細と概観は, 表現された大量の情報に対して注目されている付近の領域を拡大表示すると同時にそれ以外の周辺領域は空間を歪めて小さく表示することによりディスプレイ上に表現される. これにより周辺との関連性を失うことなく, 特定の情報を詳しく見ることができ, 限られたディスプレイスペースを効率的に利用して情報を理解することができる.

空間の場合にはディスプレイ上の表示面積を変化させたのに対して, 時間的な変化を持つ事象に対する詳細と概観を表現するために, 本研究では時間スケールを利用する. 時間スケールとは, ある2つの

時間の流れの比を表すもので, 本稿では以下の2つの時間スケールを利用する.

- (1) 観察者のおかれている時間の流れと, 対象となる事象のおかれている時間の流れとの間の時間スケール
- (2) 再現された事象のおかれているある時間の流れと, 別の時間の流れの上に再現する事象のもつ時間の流れとの間の時間スケール

ここで, 観察者のおかれている時間とは, 計算機上に再現された事象を見ている人のおかれている時間であり, それを観察者自身が制御することはできない. 事象のおかれている時間とは, 実際にある事象が完結するのに費やされた時間である. 計算機上に再現された事象の時間の流れは観察者によって操作され得る.

(1)の時間スケールはすでに完結している事象が, 観察者のおかれている時間を基準にした際, どのような時間の流れであったかを理解するために必要とされる. 地図における縮尺表示と同等の意味を持つ. たとえば実際には300分(事象のおかれた時間)かけて植物が開花する様子を記録したものを, 計算機上で3分間(観察者のおかれた時間)で再現した動画を観察することを想定すると, 観察者と事象との時間スケールは1:1/100となる. この時間スケールは事象の内容を理解する上では不可欠であり, 再現された事象を観察者時間に置き換えて把握するのに役立つ.

(2)の時間スケールは, 再現された事象のおかれている時間を基準として, 観察者が時間の流れを制御する様子を表す. たとえば計算機上で3分間かけて完結するよう再現された事象を, 観察者が3倍速の

早送りで1分かけて見る場合の(2)の時間スケールは1:3であり、(1/10倍速の)スロー再生で30分かけて観察する様子を表現する場合の(2)の時間スケールは1:1/10である。ある時間の流れに対して時間スケールが大きければ、もう一方の時間は基準よりも速い時間の流れを示し、小さければ遅い時間の流れを意味する。

本研究では、(1)の時間スケールを事象の理解のために、(2)の時間スケールを詳細や概観を表現するために利用する。次節では、(2)の時間スケールを用いて表現された情報の詳細と概観を関連付ける方法について2つの例を挙げて説明する。

2.2 時間的な詳細と概観の表現

時間スケールを用いて、詳細と概観を表す方法として、以下の2つの方法が考えられる。

(a) ある事象を、異なる時間スケールで複数同時に表示し、詳細と概観を同時刻内に表現する (図2)

(b) 再現された事象の時間スケールを局所的に変化させて表示し、詳細と概観を事象が完結するまでに要する時間内に表現する (図3)

これらの手法は共に、時間スケールによる再生速度の違いを表すために、パラパラ漫画のようにフレームの集合を観察者の時間にあわせて切り替えて提示し、事象を再現するものである。図中に示したオリジナル再現速度とは、ある時間スケールで計算機上に再現された事象の、観察者によって操作されていない状態における再生速度である。

(a)の方法は、大きい時間スケール(速い再生速度)で再現される事象と、小さい時間スケール(遅い再生速度)で再現される事象、およびそれらの間を埋めるいくつかの時間スケールで再現される事象を同時に表現するもので、どの時刻に着目しても詳細と概観が表現されていることとなる(図2)。表示されているそれぞれの事象のフレームにずれが生じるが、それぞれの再生速度は終始一定である。

(b)の方法では、着目したい部分(事象のもつある時刻)を小さい時間スケールで再現し、その前後を概観として大きい時間スケールで表現する(図3)。

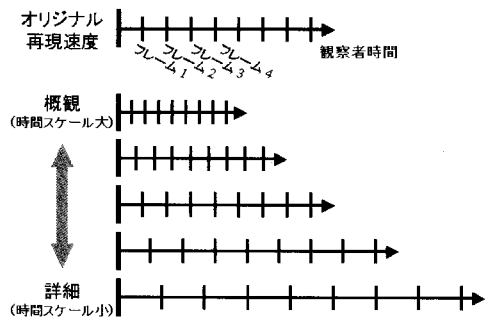


図2: (a)複数の時間スケールで詳細と概観を表現

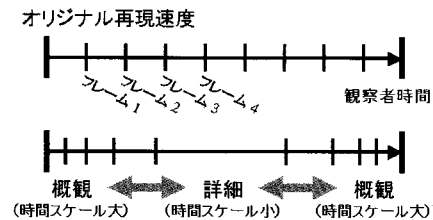


図3: (b)再現される事象の時間スケールを局所的に変更して詳細と概観を表現

観察をする際に再生速度は変化するものの表示されていくフレームのつながりは保たれる。

本稿では、(a)の方法に着目し、詳細と概観を同時に表現する手法として Focus+Context 手法を取りあげ、以降の議論を進める。次章では、空間の Focus+Context 手法において利用される機能をもとにして必要となる要件をまとめ、時間の Focus+Context に応用する方法を述べる。

3 時間スケールを用いた Focus+Context 手法

視覚化手法としての Focus+Context 手法は、構造を持つ情報に対して魚眼レンズを通して見たときのような状態を表すアルゴリズム[3]を空間を利用して視覚化したものであり、数多くのアプリケーションが存在しているものの、Focus+Context 手法の明確な定義はない。時間スケールを利用した Focus+Context を実現するために、一般的な空間を利用した Focus+Context を実現しているアプリケーション

ョンで多く用いられている機能をまとめると以下のようになる。

- 情報の詳細および概観の表現
- 詳細と概観の同時表示および関連付け
- フォーカルポイント（詳細表示の中心となる点）の決定とインタラクティブな変更
- 詳細と概観の倍率の設定

これらに加えて、時間的变化を伴う事象を対象としたことによって新たに必要となる機能としては

- フォーカルポイントの明示
- 再現された事象の時間の、事象のおかれたもとの時間での表示
- オリジナル再現速度の表示
- 時間スケールを認識するための補助的な表現

が必要となる。

以下にそれぞれの機能の説明と実現方法を述べる。

情報の詳細および概観の表現

本研究では、時間の詳細と概観を表現するために、2.1 節で述べた時間スケールのうち事象を再現する速度を表すための時間スケールを利用する。時間スケールを小さくし遅い再生速度で事象を再現することを時間の詳細とし、時間スケールを大きくし速い再生速度で事象を再現することを時間の概観とする。

詳細と概観の同時表示および関連付け

空間の Focus+Context においては、空間を歪めることによって同時に表示された詳細と概観を関連付けて表現し、瞬時にそれを理解することが可能である。それに対し時間スケール（再生速度）の違いを人間が知覚するためには、ある瞬間だけでなく、一定の時間幅を必要とする。また時間スケールそのものの違いを認識するのではなく、それによって再生速度を異にして再現される事象を見てはじめて、違いを認識することができる。換言すると時間スケールの違いは空間を利用することによってのみ理解される。そこで、詳細と概観を関連付けるための方法として、いくつもの時間スケールで再現される事象を表すフレームを半透明にし、ひとつのウィンドウ内に重ねて表示することを考えるものとする。

フォーカルポイントの決定とインタラクティブな変更

空間においてはある点を中心として面積の拡大率を変えて表現するのと同様に、時間の場合も、時間スケールを変えた表現を同時に行う際に中心となる点が必要である。詳細を表現するための時間スケールを大きくし続ける（スロー再生をつき詰めていく）と、時間の進まない状態に近づくことから、フォーカルポイントはある時刻と捉えることができる。その時刻を中心としてさまざまに設定された時間スケールで事象を再現し始めることで、それぞれ異なった情報を得ることができる。

フォーカルポイントの変更は、既存の動画像ビューワに多く見られる時間経過を表すスライダバーのつまみを操作し時刻を指定するのと同様に、ユーザが自由にフォーカルポイントの時刻を指定できなければならない。また、ある時間スケールで再現された事象を見ている際に、そこで表示されている時刻を新たなフォーカルポイントとして指定できることも有用である。

詳細と概観の倍率の設定

対象となる事象の内容によっては詳細や概観となる時間スケールの小ささや大きさが異なるため、時間スケールの最大値および最小値を決めることが必要である。最小値が正の値の場合は順方向の時間で進む事象のみの表現となり、負の場合にはフォーカルポイントの時刻から、逆方向の時間に進む（ビデオなら逆再生、巻き戻しなど）事象も同時に表現される。

フォーカルポイントの明示

空間を利用した Focus+Context 手法では、表示面積が拡大されている部分の中心点が、フォーカルポイントであると理解することができるが、時間スケールを利用した場合ではフォーカルポイントとなる時刻を決定した次の瞬間には、それがどの時刻であったかを認識することができなくなってしまうため、これを明示的に表現する必要がある。

再現された事象の時間の、事象のおかれたもとの時間での表示

2.1 節で述べたように、事象を理解するためには事象のおかれた時間を観察者の時間にマッピングして時間の流れを捉える必要がある。事象を再現する際に事象のおかれていた時刻として表示することで、観察者と事象の間の時間スケールを明示することができる。

オリジナル再現速度の表示

図 2,3 に示したようにオリジナル再現速度とは、ある時間スケールで計算機上に再現された事象の、観察者によって操作されていない状態における再生速度であり、実際の事象が完結するのに要した時間を計算機上でどれだけの時間かけて再現するか（観察者と事象の間の時間スケール）によって決まる再生速度である。この時間スケールが 1:1 である場合（たとえば 300 分で植物が開花する様子を 300 分かけて計算機上で再現する場合）、オリジナル再現速度が、実際の事象の起こった速度と同じであるという特別な意味を持つため、変更された時間スケールでの表現をそれと比較しつつ理解することができる。

時間スケールを認識するための補助的な表現

前述したように、さまざまな時間スケールで表現されたいくつもの事象を同時に見る際には、空間に再現された事象の動きの違いを見ていると考えられる。しかし、同時にいくつもの事象が表現されそれぞれの時間が進んでいく中である時間スケールで再現されるひとつの事象に着目することは非常に困難である。そこで、時間スケールの違いを把握しながらも、特定の時間スケールの事象に着目するため、その時間スケールで表現される事象を再現するフレームに、ハイライトをあてたり、別の色で表現するフィルタをかけたりすることなどを、補助的な表現方法として利用する必要がある。

4 プロトタイプシステム

前章で述べた機能を持たせ、ボールが動く様子を対象とする事象の具体例として取り上げ、時間の Focus+Context の枠組みに当てはめてプロトタイプ

システムを構築した (図 4)。ここで対象とする記録された事象 (ビデオで撮影された映像など) は、特定の視点からその変化を捉えたものとし、視点や視線の方向は変化しないものとする。また、再現される事象は映画のように連続したフレームの集合として捉え、いくつもの時間スケールで同時に再現する際には、フレームを半透明にして重ね合わせて表示することとする。以下に、システムを構成するコンポーネントの機能を説明し、システム利用時のふるまいについて述べる。

4.1 コンポーネント説明

StressedSpeed 設定スライダ

ユーザが詳しく見ようとする時間スケール (StressedSpeed) を自由に変更するためのスライダである。選択された時間スケールで再現されている事象のフレームを濃くする (透明度を減らす) ことにより、それ以外の時間スケールの表現よりも視覚的に捉えやすくし、時間スケールを認識するための補助的な表現を提示する。さまざまな再生速度をインタラクティブに変更して見ることでユーザの興味の変移に対応する。

StressedSpeed 表示ラベル

現在の StressedSpeed が、オリジナル再現速度 (OriginalSpeed) の何倍になっているかを示す時間スケールを表示する。

Maximum/Minimum Play Speed 設定・表示テキストボックス

StressedSpeed 設定スライダで取り得る再生速度の範囲を設定する。

FocalPoint 設定ボタン

ある再生速度に着目しつつ、再生速度のずれ始める時刻を設定する。その時点で時刻表示スライダ (下記参照) が表示している時刻に FocalPoint を設定する。

OriginalSpeed/Ghost/FocalPoint 表示チェックボックス

オリジナル再現速度 (OriginalSpeed)、StressedSpeed 以外の時間スケール (Ghost)、フォーカルポイント (FocalPoint) のそれぞれが指す、フレームと時刻表

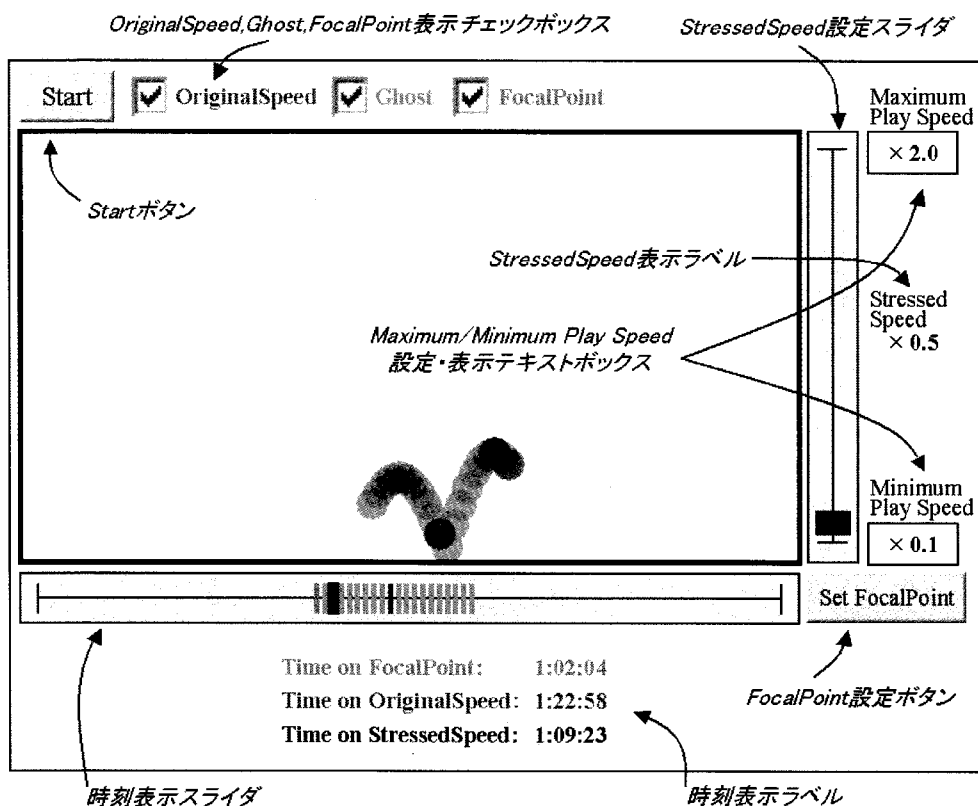


図 4： システム概観

示スライダ上のつまみの表示／非表示を切り替える。それぞれ、オリジナル再生速度と比較する際や、StressedSpeed のみに着目したいとき、FocalPoint 時刻を知りたいときに有用である。

時刻表示スライダ

さまざまな再生速度において、現在表示されているフレームの時刻をスライダバー上に表示する。事象が完結するに必要な時間長全体に対して、現在どのあたりの時刻が表示されているかがわかる。また、つまみの動く速さや向きにより、時間スケールを感じとることができる。FocalPoint に関しては、その時刻を表示するだけでなく、つまみを移動させることによって FocalPoint の時刻を変更することができ、再び異なる時間スケールによる表示を始める。

時刻表示ラベル

FocalPoint, OriginalSpeed, StressedSpeed により現在表示されているフレームの示す時刻を、事象のお

かれたもとの時間を用いて表示する。これにより計算機上で再現されている事象が、実際どのような時間の流れであったかを知ることができ、事象の理解に役立てることができる。

4.2 システム利用時の流れ

本節ではシステムを利用した際の、主だった操作の流れを、グラフとスクリーンショットを用いて説明する。

図 5 は、事象を記録したものが映画のようにフレームの連続したつながりであると想定し、プロトタイプシステムを操作する観察者のおかれた時間と表示されるフレームとの関連をグラフで表したものである。点線が複数の時間スケールで再現された事象をそれぞれ表し、線の傾きが再生速度（時間スケール）を表している。観察者時間を示す軸との角度が大きいほど時間スケールが大きく、再生速度が速い。簡単のために、5 つの時間スケールのみを表示して

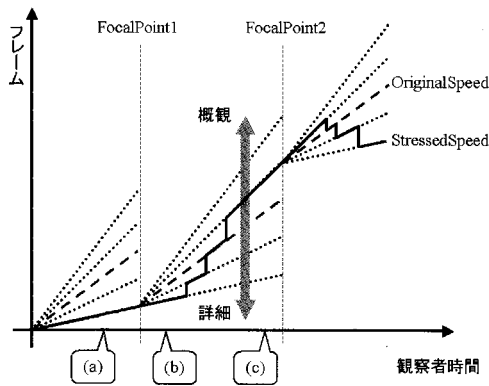


図 5: システム利用時の流れ

いるが、ここで最も角度の大きいものが概観を、小さいものが詳細を表し、中間の粗い点線で表示された線はオリジナル再現速度を、5つの時間スケールをなぞる実線は StressedSpeed が変化する様子 (観察者の着目点が遷移する様子) を表している. 図 6 は、図 5 の観察者時間軸上にある特定の時刻(a)(b)(c)におけるスクリーンショットであり、斜体で書かれた文字は内容を理解しやすくするため新たに表記したもので、OS が OriginalSpeed, FP が FocalPoint, SS が StressedSpeed を意味する. それらから伸びる矢印は、観察者時間の特定の時刻においてそれぞれが表示しているフレームの時刻とフレーム内のボールの位置を指している. 特に時刻に関しては、実際に事象が起こった時間の流れでの時刻が、時刻表示ラベルに表示される.

観察者時間に沿ってシステム利用時の流れを述べると、まず(a)付近では、再現された事象の最初の時刻をフォーカルポイントとしてさまざまな時間スケールによる再生が同時に始まり、スクリーンには半透明の映像がいくつも重ねて表示され、再生速度の違いにより徐々にボールの位置がずれて見え始める. 観察者が StressedSpeed 設定スライダで 0.5 倍の再生速度に着目すると緩やかな速度で移動するボール (実際にはフレーム全体) が、他のものより濃く表示され着目しやすくなる. 着目しているボールが図 6(b)の FP の指す時刻および位置に到達したとき、その付近を詳しく見ようと FocalPoint 設定ボタンを押

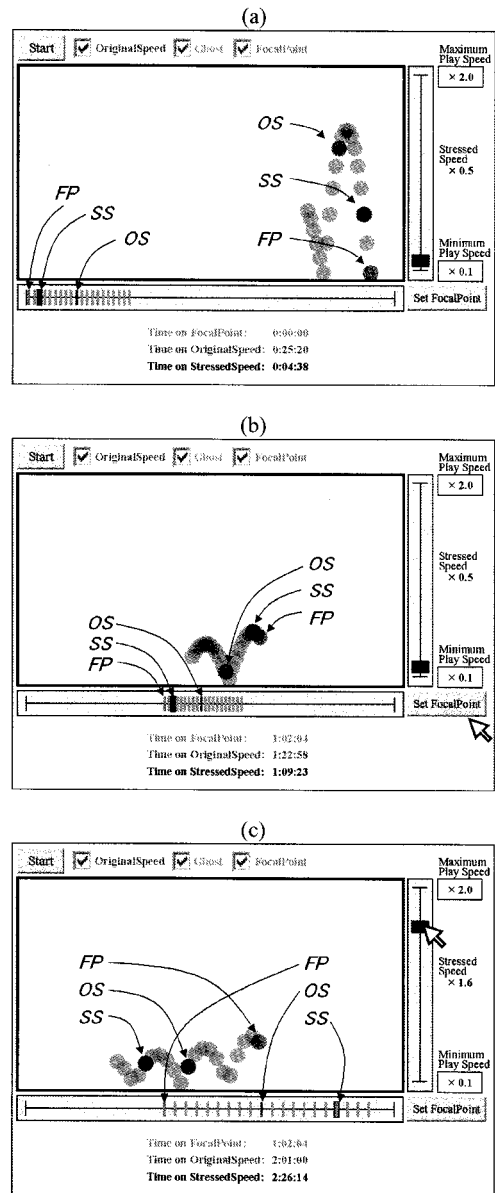


図 6: システム利用時のスクリーンショット

すことで、表示されていたボールが消え、新たなフォーカルポイントの示す時刻から再生され、ボールがずれ始める. (b)から(c)にかけては、観察者は StressedSpeed 設定スライダを操作して着目する時間スケールを 0.5 倍から 1.6 倍に変更し、動きの速いボールを詳しく観察している.

このように、事象の概観と詳細を同時に表示するだけでなく、再現された事象のフォーカルポイントを変更したり、観察者が着目したい時間スケールを自由に変更したりすることで、事象の理解が深まると考えられる。

5 まとめ

本稿では、空間を利用して情報の詳細と概観を表現する Focus+Context 手法を、時間スケールを利用して時間の概念を持つ情報に適用し、作成したプロトタイプシステムについて述べた。

事象を再現する際の再生速度によって理解できる情報は異なると考えられるが、詳細と概観に加えて、その中間の再生速度をいくつも表示することが、事象をより詳しく理解することにつながるかどうか、あるいは、観察者が時間スケールの違いを理解（把握）できるかということに関しては、実験などで検証する必要がある。

プロトタイプシステムで用いた題材に関しては、透明度や色を変化させることで時間スケールの違いを表現することができたが、たとえば花が開花して徐々に色が変化し、やがて散り落ちるという事象を対象とした場合、今回のプロトタイプシステムでは煩雑になりすぎて事象の理解は困難になると考えられる。事象の内容に応じて透明度や色以外にも多くの表現方法を選択できるようにする必要がある。

6 課題・展望

本稿では、複数の時間スケールを同時に表示することで、時間の詳細や概観を表現する例を示したが、これは時間の Focus+Context を実現するひとつの試みに過ぎない。たとえば 2.2 節で述べたような、事象が完結するまでに要する時間の中に詳細に見る部分と、流れだけをつかむ部分とを表すことなど、さまざまな実現方法を探り、それらを比較し評価していきたい。

謝辞

本研究における理論的枠組みの構築、システムの設計を行うにあたってご協力をいただいた神谷年洋氏に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] S.K.Card, J.D.Mackinlay, B.Shneiderman, Readings in Information Visualization: Using Vision to Think, Morgan-Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1999.
- [2] P.Pirolli, S.K.Card, M.M.V.D. Wege, Visual Information foraging in a Focus+Context visualization, Proc. of ACM CHI 2001, Seattle, Washington, pp. 506-513, 2001.
- [3] G.W.Furnas, the FISHEYE View: A New Look at Structured Files, Murray Hill, NJ:AT&T Bell Laboratories, 1981.