

インタラクティブ・アミューズメントに対する 非教示・探索行動と諸要因の影響

前田篤彦* 杉山公造* 間瀬健二†

* 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

† ATR 知能映像通信研究所

Abstract

本研究では、体験型科学館に設置されたインタラクティブ・システムに対するユーザの一連の行為を inquiry learning の機会として捉える。本研究の目的は、inquiry learning のための、より効果的なインタラクティブ・システムのインターフェイス・デザインとはどのようなものなのか、実験によって検証することである。そのために、二つの実験を行った。はじめの実験では、inquiry learning における学習達成率が容易になる条件ほど、後半時間における探索行為の減少傾向が強くなることが示された。この結果から、ヒューマン・インターフェイスをデザインする際に、探索行為によらない偶発的な学習の機会を考慮する必要性が示唆される。それゆえ、次に入力デバイスの違いによって、偶発的な学習の頻度に差がでるか検証した結果、オルタネイト・スイッチの組み合わせより、モーメンタリ・スイッチ単独によるほうが、偶発的な学習の機会が増やすことがわかった。最後に、この原因として人間の誤動作について考察する。

Exploration without instruction on interactive amusements

Atsuhiko Maeda* Kozo Sugiyama* Kenji Mase†

*Japan Advanced Institute of Science and Technology,
School of Knowledge Science

†ATR Media Integration & Communications Research Laboratories

Abstract

A series of the user's actions on an exhibit of an interactive art and science museum is examined in terms of inquiry learning. The purpose of this study is to discover the more effective human interface design for the inquiry learning. For this purpose, two experiments are conducted. First experiment's results show that the higher the rate of the learning-achievement in the inquiry learning is, the higher significant decrease of the rate of the exploratory behavior in a series of actions in the latter half is. These phenomena imply that the opportunity for not only learning by exploration but also accidental learning should be considered when designing the human interfaces. Next experiment on input devices shows that one momentary switch is superior to a combination of alternate switches in terms of accidental learning. Finally, we discuss the role of behavioral error (micro slips) to accidental learning.

1 はじめに

近年, Exploratorium¹やインターコミュニケーション・センター (ICC)², アルス・エレクトロニカ³に代表されるような, インタラクティブ・システムの設置を中心とした体験型の科学館や美術展示の社会的認知度が高まりつつある. このような会場では, 流体運動⁴や放電現象⁵, あるいは, 生物進化のシミュレーション⁶やもっと単純な規則によって変化するコンピュータ・グラフィックス [2] などを用いたインタラクティブ・システムが展示されている.

Stevens[6]らは, これらのシステムとのインタラクティブを inquiry learning の機会として捉えている. その意味するところは, はじめは困惑するような現象に対して, ユーザがアクションを繰り返すことにより, その現象に対する自身の理解をリファインし, 再構築していけるような機会を与え, 最終的にその現象に作用している原理を深く理解することができるというものである.

本研究の目的は, inquiry learning のための, より効果的なインタラクティブ・システムのインターフェイス・デザインとはどういうものか, 実験によって検証することである. そのため, まずはじめに, これまでの研究では言及されていなかった, inquiry learning として捉えられている一連のインタラクティブには, 探索を意図しない行為が含まれているということを明らかにし, さらに, 探索を意図しない行為からの偶発的な学習について, 入力デバイスの違いによる効果を検証したので報告する.

2 問題の形式化

本研究では, 上述したインタラクティブ・システムと出会う際に多々あり得る次のような状況を実験条件に加える.

¹<http://www.exploratorium.edu/>

²<http://www.ntticc.or.jp/>

³<http://www.aec.at/>

⁴Ned Kahn による Exploratorium の”Turbulent Orb”など

⁵Bill Parker による Exploratorium の”AM Lighting”など

⁶Sommerer らによる ICC の”Life Spacies”[5] など

- (1) システムに対してインタラクティブを行うかどうかはユーザの自由であり, それに加えて, システムをある特定の状態に持っていくという「タスク」や, 本来可能な行為を規制するような「ルール」はユーザに対して教示されない. それゆえ, ユーザ自身の様々な興味に基づいて行われる行動が, それらによって影響を受けない.
- (2) システムの挙動は, ユーザにとって新奇なものであり, ユーザはその挙動を十分に把握していない.

以下は, 本稿で用いる用語の定義である.

インタラクティブ・システム 入出力を持った状態遷移システムである. 次節以降, 入力をユーザの「行為」, 出力をシステムの「リアクション」と呼ぶことにする.

知識 本稿では, インタラクティブ・システムに対する特定の入出力の関係について, 一方からもう一方を疑いなく導くことができるもののことである.

探索行為 探索行為とは, 既存の知識では定かではない, 特定の入出力の関係について知ろうとする行動である.

学習 既存の知識では定かではなかった特定の入出力の関係を知識から導くことができるようになる, あるいは, 既存の知識とは, 異なる対応関係を導くことができるようになることである. 本稿では特に, 探索行為によってなされる学習と, 探索を意図しなくても**偶発的になされる学習**を分けて考える.

2.1 行為の判別方法

本研究では, 一連の行為を分けて, 最終的に (a) 探索行為, (b) 偶発的学習, (c) その他に区別する必要がある, そのために次のような方法をとった. ユーザがシステムとのインタラクティブを終えた直後, 自身の操作映像記録を見てもらいながら, 被験者自身が行った一連の入力に対して, 覚えている範囲で, 何をしようとしていたか説明してもらい (類似した観

察方法を行っている研究に [6, 7] がある), それぞれを次のように分類をしてもらう。

(UE) システムの具体的なリアクションを予想・期待せずに行った入力

(E=R) システムの具体的なリアクションを予想・期待しており, 実際のリアクションが予想と一致した場合

(E≠R) 実際のリアクションが予想・期待とは違った場合

このデータをもとに, 著者らは, UE に分類された行為と, E=R, E≠R に分類された行為のうち, 被験者のコメントから, 予想・期待に疑いの余地が含まれているととれるものを探索行為としてカウントした。UE の出現は, インタラクションの開始時に偏ると想定している。しかし, インタラクションの後半に多々出現するようであれば, 被験者が途中から探索を諦め, とにかく何らかのリアクションが返ってくればよいと考えている可能性があるため, その場合は注意する必要がある。

また, 上記の三分類と並行して, リアクションの原因がわかる/わからない (KC/UC) の二分類を行ってもらい, 偶発的学習を, E≠R 且つ KC のうち, 予想・期待が確信ととれる場合とした。後ほど, 本研究で実施した実験での分類例を示す。

3 実験使用システム

我々は, 仕掛けや挙動の変更が比較的自由に行えるコンピュータ機器とプログラムを使用して, 実験用インタラクティブ・システムを次のようにデザインした。1024×768 ピクセルの真っ白なコンピュータ画面には, 高さ約 100 ピクセルの 6 匹の黒いネコのシルエットと矢印型のマウス・カーソルのみが表示される。このソフトウェアは, ネコという対象に対して 4 種類の「力」(Gravity, Constraint, Ripples, Holding, 図 1 参照, これらの力学モデルに関する説明は文献 [4] に記載) をそれぞれ発生した状態と, 「力」を発生していない状態 (None) を連続的に組

み合わせたときに, 対象がどのように運動するのかシミュレートして観察することができるようにつくられており, ユーザはそれらの「力」を直接制御できる。4 種類のうち, Constraint, Ripples, Holding は「力」の方向も制御できる。ネコは, 「力」に応じてダイナミック且つ非常になめらかに体勢を変え, 反応する (画像書き換えレートは, NTSC 方式のテレビと同じ 30Hz)。いわば, ネコを使った, 直接操作が可能な力学シミュレーターである。なお, 画面枠に対してネコとの衝突判定があるが, ネコ同士にはなく, そのため, ネコ同士が重なることがある。

入力デバイスのデザインは, 二通り用意されており, 説明はそれらを比較する 5 節の実験 2 で行う。

また, 本システムは単体でビデオのようにユーザが行った全ての入力を 1/30 秒毎に記録し, 当時のインタラクティブ・システムの挙動を完全に再生する機能を持っている。

4 実験 1

仮説

一連のインタラクションにおいて, 学習達成率が容易になる条件ほど, 後半時間における探索行為の比率に, 減少傾向が強く表れる。

被験者 文科系から理工系まで様々な分野を専門とする大学生 18 人

実験環境 3 節で紹介したインタラクティブ・システム。入力デバイスのデザインには, 後述する 5 節の実験 2 で B タイプと呼んでいるものを使用する。

実験計画 入力に対してインタラクティブ・システムのリアクションが全く遅延なしに行われる場合 (Real-time 条件) と作為的に 3 秒ごとに 0~1.5 秒遅延が入るようにした場合 (Delay 条件) それぞれについて, 入力デバイスの感度を作為的に 100%, 75%, 50%とした場合の 2×3 条件の実験計画を用いる。各条件に, 3 人ずつの被験者を割り振る。

手続き

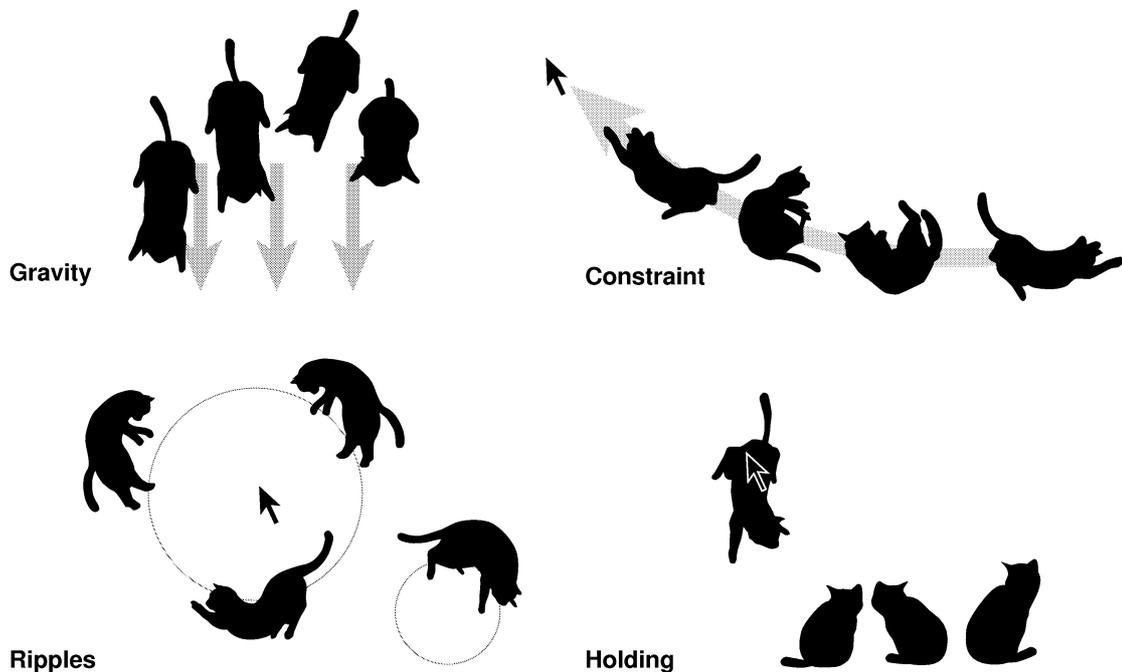


図 1: 4 種類の「力」(Gravity 以外は「力」の方向も制御できる)

1. 十分な時間が確保できる被験者を集め、各被験者に対し、以下の教示を初めに与えた。

「ここに、力学の教材として作られたちょっと変わったソフトウェアがある。このソフトは、対象に対していくつかの種類のを加えたときに、それらがどのように運動するのかシミュレートして観察することができるようにつくりされており、ユーザはそれらの力を直接制御できる。これについてあなたの意見を伺いたいのので、触ってみて、使いかたを評価してもらいたい」

「ただし、一つ条件がある。この調査では、使い方に関する説明を何一つ得ていないユーザが、直接システムに触って得られる情報のみから、どれだけシステムの振る舞いや使い方を把握できるかということを知りたい。そのため、使用する入力装置がどれであるかだけは説明するが⁷,

それ以外のシステムの仕組みや操作方法に関しては、一切しない」

2. 被験者が操作を始めてから 1 分半経過後、インタラクションを終了してもらい⁸。使いかたについて意見を述べてもらう。具体的には、「最終的に仕組み、使い方が理解できたと思うか」「理解する過程で困難はあったか」「どんなふう操作したか覚えているか」といったことを尋ねる。
3. 質問を聞き取っている最中、実験者の携帯電話に連絡が入る。実験者は、電話相手との簡単なやり取りをしたあと、被験者に対して次のような説明を行う。「今、同じテストを別な人にも同時をお願いしていて、そちらの様子を見に行かなければならなくなった。申し訳ないが、質問がまだ残っているので、少しの間席をはずすけど、ここで待っていてほしい。その間、何をし

⁷使用する入力装置についての説明とともに、使用するキーボードやマウスのボタンについては、目印となるシールを貼り、操作中に説明を忘れても思い出せるようにしておいた

⁸この時間は、文献 [3, 6] によるパブリック展示スペースにおけるインタラクティブ・システムとの自発的なインタラクションの平均継続時間 2 分というのを参考にした。ただし、本実験は、パブリック・スペースという条件ではない。

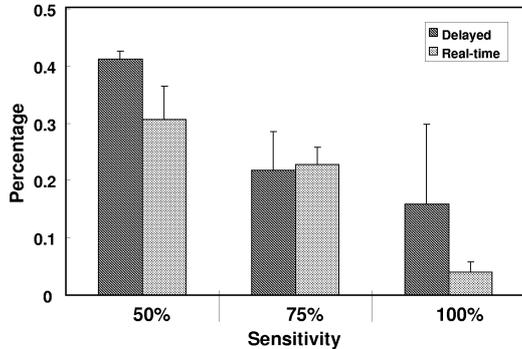


図 2: 原因のわからないリアクション (UC) の出現率

ていても構わない。雑誌などを読んでもよいし、そのソフトウェアを触っていてもよい⁹」実験者は部屋を出て行く。部屋には、タウン情報誌、パソコン雑誌、経済誌などの最新号が雑誌ラックに入っておいてある。この間、被験者は、ちょうど 10 分間一人になる。

- 10 分経過分後、実験者は部屋に戻ってきて、質問を再開する。ここで初めて、操作が記録されていたことを告げ、被験者に自身の操作映像をみてもらいながら、自身が入力デバイスに対して行った各入力について、覚えている範囲で、2.1 節で述べた方法で分類してもらう。

なお、被験者を集める段階で、実験協力による報酬支払いという条件は提示していない。それを提示すると、システムに対する興味が減少し、自由時間におけるインタラクションの継続時間に影響を与えることが Deci[1] により報告されているためである。

4.1 結果と考察

学習達成の難易度については、原因のわからないリアクション (UC) の出現率によって評価が可能である。結果は、Delay 条件より Real-time 条件のほうが、入力デバイスの感度については高くなるほ

⁹予備実験の段階で、このように説明しないと、実験者が帰ってくるまでソフトウェアを触ってはいけないのではと考える被験者がいることが確かめられたので、必ず伝えなければならない。

	Independent Variables		
	Delay $F_{(1,12)}$	Sensitivity $F_{(2,12)}$	Interaction $F_{(2,12)}$
Interaction period	0.518	0.410	2.304
Unknown cause(UC)	4.757*	21.200***	1.576

* $p < 0.05$ *** $p < 0.0001$

表 1: 分散分析の結果

	Sensitivity		
	50%	75%	100%
Real-time	1.902	5.228*	7.969**
Delay	1.628	4.942*	6.227*

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

表 2: 探索行為の減少傾向

ど、減少傾向にあった (図 2 及び表 1 参照)。従って、遅延と感度によって、学習達成の難易度をコントロールできているといえる。なお、条件間で、インタラクションの継続時間に関する有意差はなかった (表 1 参照)。

探索行為の時間経過による減少傾向は、学習達成の難易度が下がる条件ほど、有意傾向が強く表れることがわかった。各被験者のインタラクションの継続時間の合計を均等に前・後半に分け、後半における探索行為比率の減少傾向¹⁰について、各条件ごとに、ペアード t 検定を行った結果を表 2 に示す。

以上の結果より、仮説は検証されたといえる。

ちなみに、Real-time×100%条件の時系列データを例にとってみると (図 3 参照)、ある程度インタラクションの時間が経過すると、探索行為が他の行為を挟んで断続的に出現するようになっているのがわかる。このことから、被験者の困惑がある程度解消すると、その後は、若干の探索行為が短い時間内

¹⁰行為の判別に関しては、インタラクションの前半と後半で想起率に差がある可能性を考慮して、比率で判断することにした。

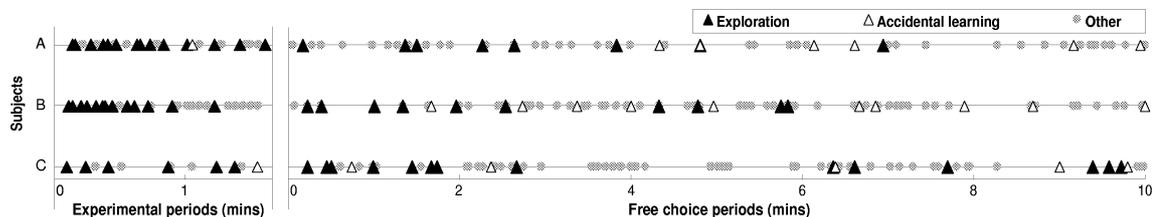


図 3: R100 条件における各被験者の行為 (自由時間では, 被験者全員が 10 分間インタラクションを行っていた)

分類 1	分類 2	被験者の説明	分類 3
UE	KC	空中でマウスの左ボタンを押してみたが, (何も起きず) 関係なさそうだ.	▲
E=R	KC	ネコを画面の中央に入っていないようにし続けようと思ひ, 波紋を沢山出した. ネコを集めて一つに重ねようとした.	○
	UC	放物線を描くように投げられるのではないかと思ひ, そうできることを確かめた.	▲
E≠R	KC	先ほど出した波紋をもう一度出したかったが, なかなかでない. 突然でる状態になったが, なぜ出るようになったのかわからない.	▲
	UC	ネコの数に対応して 5 回おすと, 全部上昇するのではと思ひしたが, そうではなかった. 今までは波紋の力は均一だと思ひていたが, 偶然ネコの近くで波紋を出したときに, 波紋の大きさや強さの関係がわかった. マウスの右ボタンでネコの動きを速くしようとした. 偶然長く押していた結果, 押しっぱなしでネコが集まることに気づいた.	△
	UC	波紋を出したいが, なぜかでない.	▲

▲:探索行為 △:偶発的な学習 ○:その他

表 3: 行為の分類例 (分類 1 及び 2 は被験者によるもの. 分類 3 はそれをさらに著者らが行ったもの)

にコンパクトに密集することによって, その分インタラクションの時間が短くなるわけではなく, システムの挙動に対する疑問や仮説が, 断続的にしか想起されなくなることを示唆している.

5 実験 2

特定の行為に対するシステムのリアクションを確信に近い状態で予想していたとしても, 実際のリアクションが予想とは異なり, 結果的に新たな学習に繋がる, ということが考えられる. 本実験では, 探索を意図しない行為からの偶発的な学習の頻度について, 入力デバイスの違いによる影響を検証した.

モーメンタリ・スイッチとオルタネイト・スイッチ入力信号を切り替えるための方式について 2 タイプ

を比較した. どちらも, ハードウェア的には, 一般的な PC 用キーボードとマウスを使用するが, ソフトウェア上で信号解釈の仕方が異なる. 一つは, ボタンを押している間だけ ON になり, 離すと OFF になる方式で, 本稿ではハードウェア・スイッチの用語を借りてモーメンタリ・スイッチと呼ぶこととする. もう一つは, ボタンを押すと ON になるが, 離しても入力信号は発生したままとなるタイプである. その入力信号を OFF にするには, 別なボタンを押さなければいけない方式である. こちらをオルタネイト・スイッチと呼ぶことにする¹¹.

¹¹本稿でのオルタネイトの意味は, ハードウェア・スイッチのそれとは, 若干異なる. 一般的に, ハードウェア・スイッチのオルタネイト動作とは, 1 回目の動作時には, 内部に設けた機械的なロック機構により動作状態を保持し, 2 回目の押し操作では, ロックが解除され, もとに戻るスイッチの動作のことである. しかし, 本稿では, ハードウェア的なロック機構はなくても, 信号の ON/OFF のみが同じように行われればオルタネイト・スイッチ

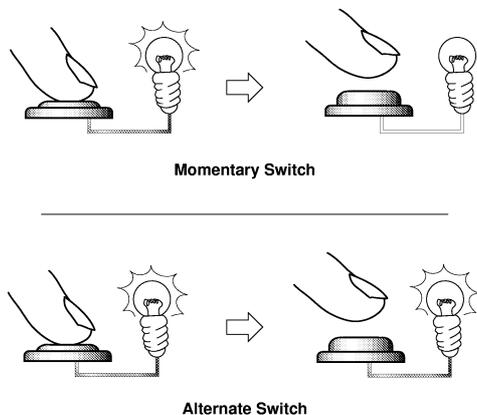


図 4: モーメンタリ・スイッチとオルタネイト・スイッチ

5.1 実験計画

前述したインタラクティブ・システムにおいて、「力」の切替方式が異なる二つのタイプについて比較した。Aタイプでは、オルタネイト・スイッチにより、None, Gravity, Constraint の3つの状態を切り替え、そのうちの None, Gravity においては、モーメント・スイッチにより、それぞれ Ripples, Holding の「力」を付加できるタイプである。Bタイプでは、None や Gravity から Constraint への切替がモーメント・スイッチに変更される点を除いて、残りの切替方式はAタイプと同じである(図5参照)。なお、両システムで切替方式が異なっても、システムに対して全く同じリアクションをさせることが可能である。各条件の被験者数は3人で、手続きは、実験1と同じである。

5.2 結果

両タイプでスイッチの異なる Constraint に関わる部分の偶発的な学習の頻度について調べたところ、Aタイプでは全被験者が0回、Bタイプでは平均5.33、標準偏差1.54となり、Welchの検定の結果は、

チと呼んでいる

Bタイプに増加傾向があることを示した ($t = 6.045$, $p < 0.05$)。なお、両タイプでインタラクションの継続時間には、Welchのt検定による有意な差はみられなかった ($t = 1.00$, $p = 0.2113$)。

5.3 考察

システムのリアクションを確信に近い状態で予想していたとしても、実際のリアクションが、予想とは異なる結果となってしまう原因は二つ考えられる、一つは、特定のリアクションを引き出すのに必要な行為が、今までとは微妙に異なる動きになっているケースであり、もう一つは、行為はこれまでどおり正確に行われていても、行為が行われる瞬間のシステムの状態が、今までとは微妙に異なっているケースである。Bタイプでの偶発的学習について、被験者のコメントや操作映像記録をもとに、行為の揺らぎによるものと見なせるケースは平均3、標準偏差2.65、システムの状態のずれが原因と考えられるケースは平均2、標準偏差0に分類できた。

行為の揺らぎは、具体的にどのように起こるのだろうか。まず、両タイプでどの被験者もはじめは、ボタンに対してはワン・クリックを行い、システムの反応を確かめていることが観察された。そのことをまとめると、両タイプともに初めは、Constraintの発生方法について、以下の入力に関する知識を得ていると考えられる。

(A-1) ボタン1をワン・クリックする。

(B-1) マウスの右ボタンをワン・クリックする。

タイプAにおいて、(A-1)を行ったあとは、もう一度(A-1)を行ってもシステムの状態は変わらないので、しばらくして必ず他のボタンを押すことになる。タイプBで(B-1)を行ったあとは、別なボタンをクリックすることもあるが、(B-1)が数回繰り返されることが多い。そのことによって、Bタイプでの行為(B-1)は、次の3つの方向で揺らぐことにより、偶発的学習となっていることが観察された。

(B-2) ボタンを押している時間が長くなる(3例)

(B-3) 繰り返し押したときの間隔が短くなる(2例)

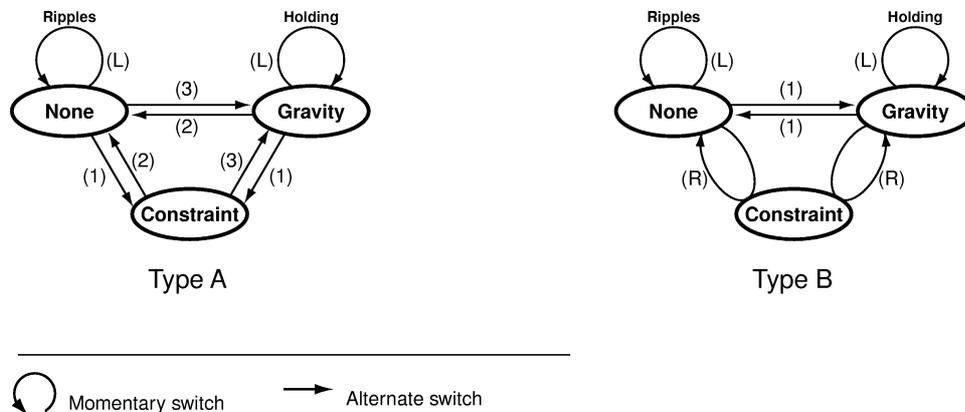


図 5: None, Ripples, Holding, Gravity, Constraint は、「力」の種類を示す。これらのうち、楕円に囲まれているものは、他の「力」とは同時に発生しないことを示し、そうでない「力」は、もとの「力」が発生している状態に、新たに付加されるタイプを示す。各「力」から伸びる直線矢印はオルタネイト・スイッチによって、矢印の始点から終点に切り替えることが可能であることを示す。矢印に付随する括弧内の文字は、切替操作に必要な入力ボタンを表す。図中の (1), (2), (3) はテン・キーの 1, 2, 3 に対応し, (R), (L) は、それぞれマウスの右ボタンと左ボタンに対応する。曲線矢印は、始点から矢印が通過途中の「力」に、モーメンタリ・スイッチによって切り替わることを示している。但し一つ例外があり、B タイプの Constraint への切替については、モーメンタリ・スイッチによって、もとの「力」にしか戻ることができないように見えるが、Constraint 発生時に、1 のキーによって、戻り先をオルタネイト・スイッチできる。

(B-4) 付加されるマウスの動きが変化する (4 例)

システムに対して、これらの行為を行ったときのリアクションを A タイプで引き出す場合に必要となる行為を考えてみるとそれぞれ以下のようなになる。

(A-1) → (B-2)

(A-2) 1 を押したあとすぐに 2 か 3 を押す → (B-1)

(A-3) 1 と 2 あるいは 1 と 3 を素早く交互に → (B-3)

(A-4) 1 を押したあと、マウスの動きを付加して 2 あるいは 3 を押す → (B-4)

(A-1) とその後続く行為が組み合わさって (A-2/3/4) へ行為が揺らぐことはほとんどあり得ないということがいえる。しかし、A タイプでも (A-2) を学習し、行ってさえすれば、(A-3/4) への偶発的な学習はあり得るのではないかと考えられる。

参考文献

[1] Deci, E.L.: "Intrinsic motivation, extrinsic reinforcement, and inequity". *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.22, No. 1, pp.113-

120,1972.

[2] Fels, S. and Mase, K.: *Iamascope: A Graphical Musical Instrument*. Computers and Graphics, Elsevier, 23(2), pp.277-286, April, 1999.

[3] Falk, J.D., and Dierking, L. D.: *The museum experience*. Washington, DC: Whalesback. 1992.

[4] Maeda, A. and Sugiyama, K. and Mase, K.: *Log analyses of human behavior on interactive amusement media*. *KES 2000*, pp.229-232, 2000.

[5] Mignonneau, L. and Sommerer, C.: "Designing Interfaces for Interactive Artworks". *KES 2000*, pp.80-84, 2000.

[6] Stevens, R. and Hall, R.: "Seeing tornado:How video trances mediate visitor understandings of (Natural?) phenomena in a science museum". *Science Education*, Nov97, Vol. 81 Issue 6, pp.735-747, 1997.

[7] Suwa, M. and Tversky, B.: "How do designers shift their focus of attention in their own sketches?". *the Proceedings of 4th Australasian Cognitive Science Conference '97*, Newcastle, Australia.,pp.102-108,1997.