

2. ヒューマンインフォメーションプロセッサ

2.2 ヒューマンパフォーマンス

複雑な情報処理

The Psychology of Human-Computer Interaction, S.K. Card, T.P. Moran, and A. Newell (1983), pp. 83~90

2. The Human Information-Processor

2.1. THE MODEL HUMAN PROCESSOR

The Perceptual System

The Motor System

The Cognitive System

2.2. HUMAN PERFORMANCE

Perception

Motor Skill

Simple Decisions

Learning and Retrieval

Complex Information-Processing

2.3. CAVEATS AND COMPLEXITIES

【複雑な情報処理】

合理性原理

□ 人間の行動の複雑さの源は何か

- ▶ 人間自身が複雑なわけではない
- ▶ タスクが実行される環境が複雑だからである ...
サイモンの蟻

▶ *An ant [A man], viewed as a behaving system, is quite simple. The apparent complexity of its behavior over time is largely a reflection of the complexity of the environment in which it finds itself.*

□ したがって、人間行動を予測するには、複雑な環境下にあって、なにが合理的な振る舞いであるかを考えて分析すればよい

□ では、合理性のメジャーは何か ???

- ▶ エネルギー最小化
 - 移動距離を最短にする ← 筋肉
 - 考えないで行えるようにする ← 脳
- ▶ 時間最小化

□ 「限定合理性」と「満足化原理」に基づいて合理性判断が行われる

【複雑な情報処理】

サイモンの蟻 (Simon's Ant)

The Sciences of Artificial, pp.51-53

We watch an ant make his way across a wind- and wave-molded beach. He moves ahead, angles to the right to ease his climb up a steep dunelet, detours around a pebble, stops for a moment to exchange information with a compatriot. Thus he makes his weaving, halting way back to his home. So as not to anthropomorphize about his purposes, I sketch the path on a piece of paper. It is a sequence of irregular, angular segments – not quite a random walk, for it has an underlying sense of direction, of aiming toward a goal.

...

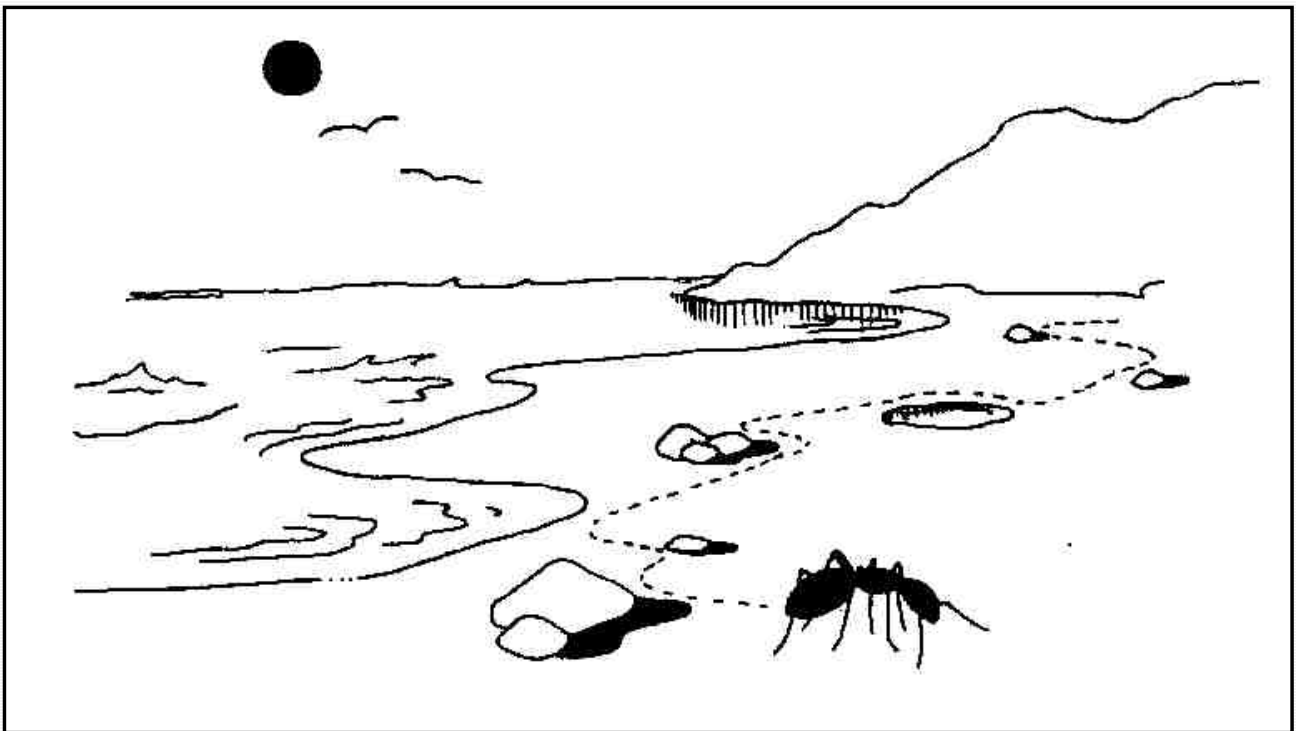
Whoever made the path, and in whatever space, why is it not straight; why does it not aim directly from its starting point to its goal? In the case of ant (and for that matter the others) we know the answer. He has a general sense of where home lies, but he cannot foresee all the obstacles between. He must adapt his course repeatedly to the difficulties he encounters and often detour uncrossable barriers. His horizons are very close, so he deals with each obstacle as he comes to it; he probes for ways around or over it, without much thought for future obstacles. It is easy to trap him into deep detours.

...

These speculations suggest a hypothesis, one that could as well have been derived as corollary from our previous discussion of artificial objects:

An ant [A man], viewed as a behaving system, is quite simple. The apparent complexity of its behavior over time is largely a reflection of the complexity of the environment in which it finds itself.

Simon's Ant on the Beach



<http://www.balint.ch/images/antbeach.jpg>

「限定合理性」と「満足化原理」 “Bounded Rationality” and “Satisficing Principle”

伝統的な経済学では、各主体は自分の置かれた利害関係を十分に把握し、それをもとに自分にとって最適な選択を行う完全な能力をもっていることを前提とする。しかし、現実には、人間は周囲の利害関係を不完全にしか把握できず、最適な選択を行う能力もない。むしろ日常的な意思決定の場面では、少数の選択肢の中で限定的な意思決定を行っている。こうした考え方を**限定合理性**と呼ぶ。サイモン(Simon, H.A.)は、主体は最適化するのではなく、情報の不確実性や計算の限界によって制約された中で満足の基準に従って選択を行うものであるという**満足化原理**(Satisficing principle)を提唱した。限定合理性の考え方は、近年の進化ゲームおよび実験経済学の発展に伴って再び脚光を浴びつつある。進化ゲームでは、各主体は各世代では最適化せず近視眼的な観点で行動を選択するが、パフォーマンスが低い主体が次第に淘汰されることによって集団全体が漸進的に最適な行動へと学習を行っていくと考える。こうした主体像を特徴づけるために限定合理性が用いられている。

実験室で理論を検証する実験経済学の分野では、従来から期待効用理論や交渉の実験において理論の予想と著しく乖離する結果が得られていたが、近年ではむしろこれらの反例を合理的に解釈するために、様々な限定合理性のモデルや学習理論が提唱されている。

また、計算の限界をメモリや状態数に制約があるオートマトンに主体の戦略を託す形で表現することによって、限定合理性に関する操作的な定義を行うことも試みている。こうした研究では、たとえ均衡点が存在するゲームでも、均衡点を計算することが計算論的に不可能な例も見えられており、従来の合理性に関する見解に反省をもたらしている。

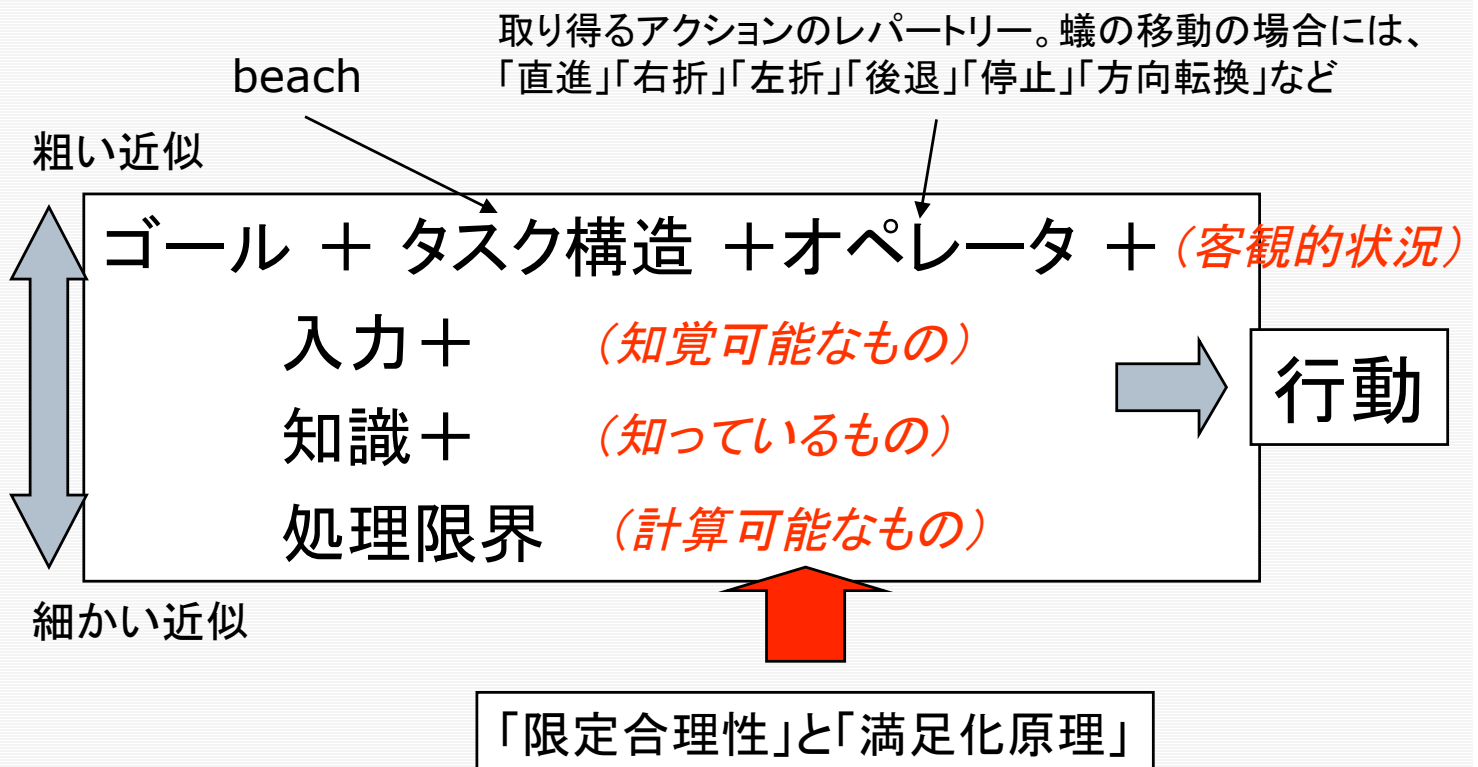
これまで限定合理性については、従来の理論の現実性を批判したりする側面が強調されがちであったが、最近では繰り返しゲームなどの均衡点が複数あるゲームにおいて1つの均衡点を選択する問題に対する1つの解答を与えたり、通常の契約があらゆる事態を想定せずに再交渉の余地を残した不完備契約になっている理由を明らかにするなど、ポジティブな成果を挙げる一助にもなっていることは注目すべきである。今後も、従来の完全合理性の理論では明らかにできない様々な問題が限定合理性のモデルで解かれていくものと期待されている。[出展: 認知科学辞典]

<動作原理8>

合理性原理

Rationality Principle

タスクの構造、タスク実行者に対する情報入力、および、知識の範囲と情報処理能力の限界が与えられたとき、その実行者は、合理的なアクションによってゴールを達成するように行動する。



【複雑な情報処理】

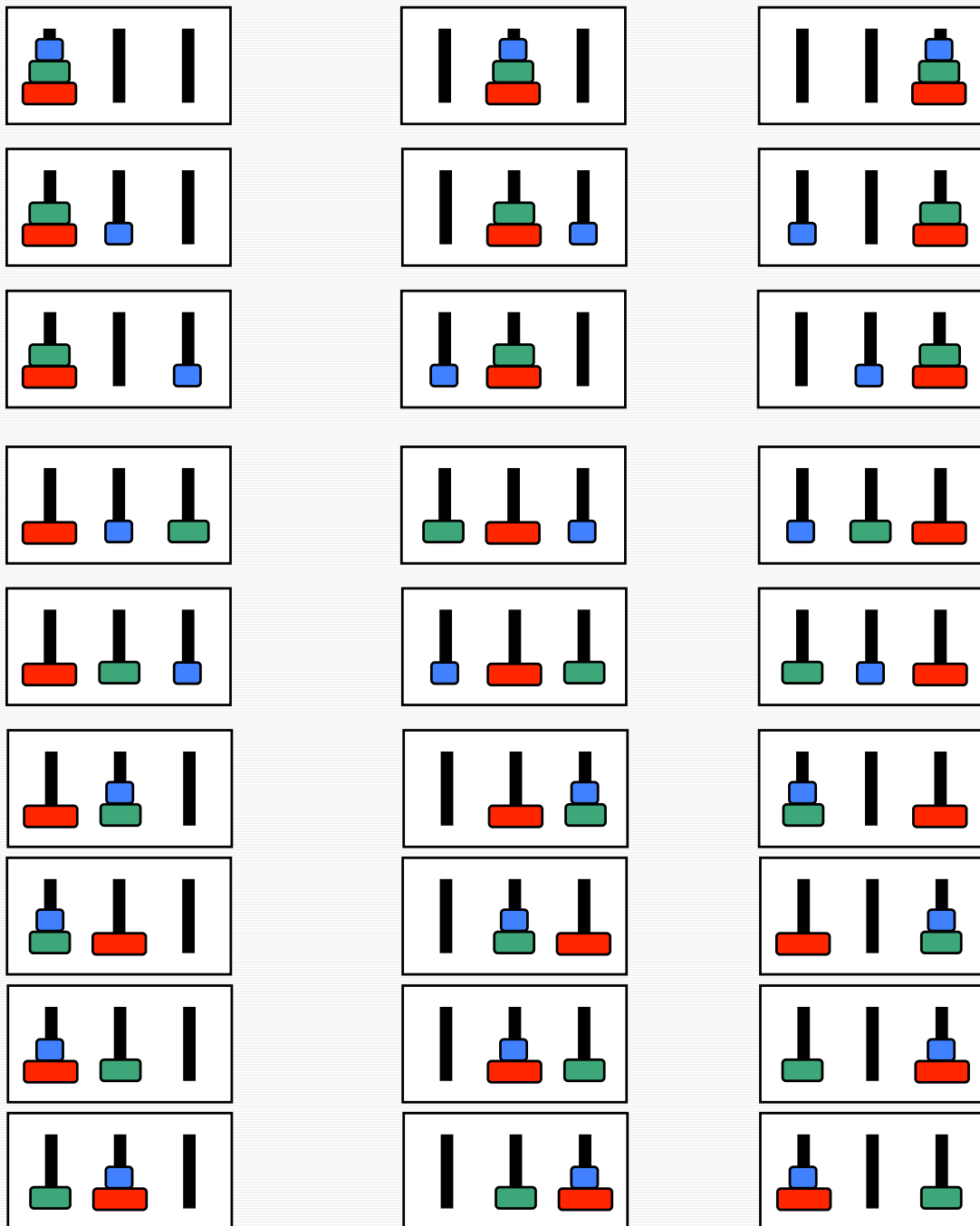
合理的行動の精密な記述、問題空間

- 環境の複雑さが取り扱いやすいとき、合理的行動を精密に記述できる
- 環境の複雑さが取り扱いやすいとは・・・
 - ▶ ある時刻における環境の状態が与えられたとき、その《状態》に《オペレータ》を作用させて生じる状態が厳密に記述できるということ
 - ▶ 状態(T+1) = オペレータ(状態(T))
 - ▶ 例えば、ハノイの塔、換字計算問題
- このような状態の集合を《状態空間》または《問題空間》という
- 問題空間：
 - ▶ 問題には、基本的に、①初期状態、②ゴール、③オペレータ、④オペレータ適用制約が含まれている。
 - ▶ 初期状態に、適用制約を満たすオペレータを順次適用していくことにより、ゴールを含む様々な状態が生じる。
 - ▶ これらすべての状態の集合を問題空間と呼ぶ。

状態(ハノイの塔)

3 円盤 3 棒 $\Rightarrow 3^3=27$

N 円盤 3 棒 $\Rightarrow 3^N$

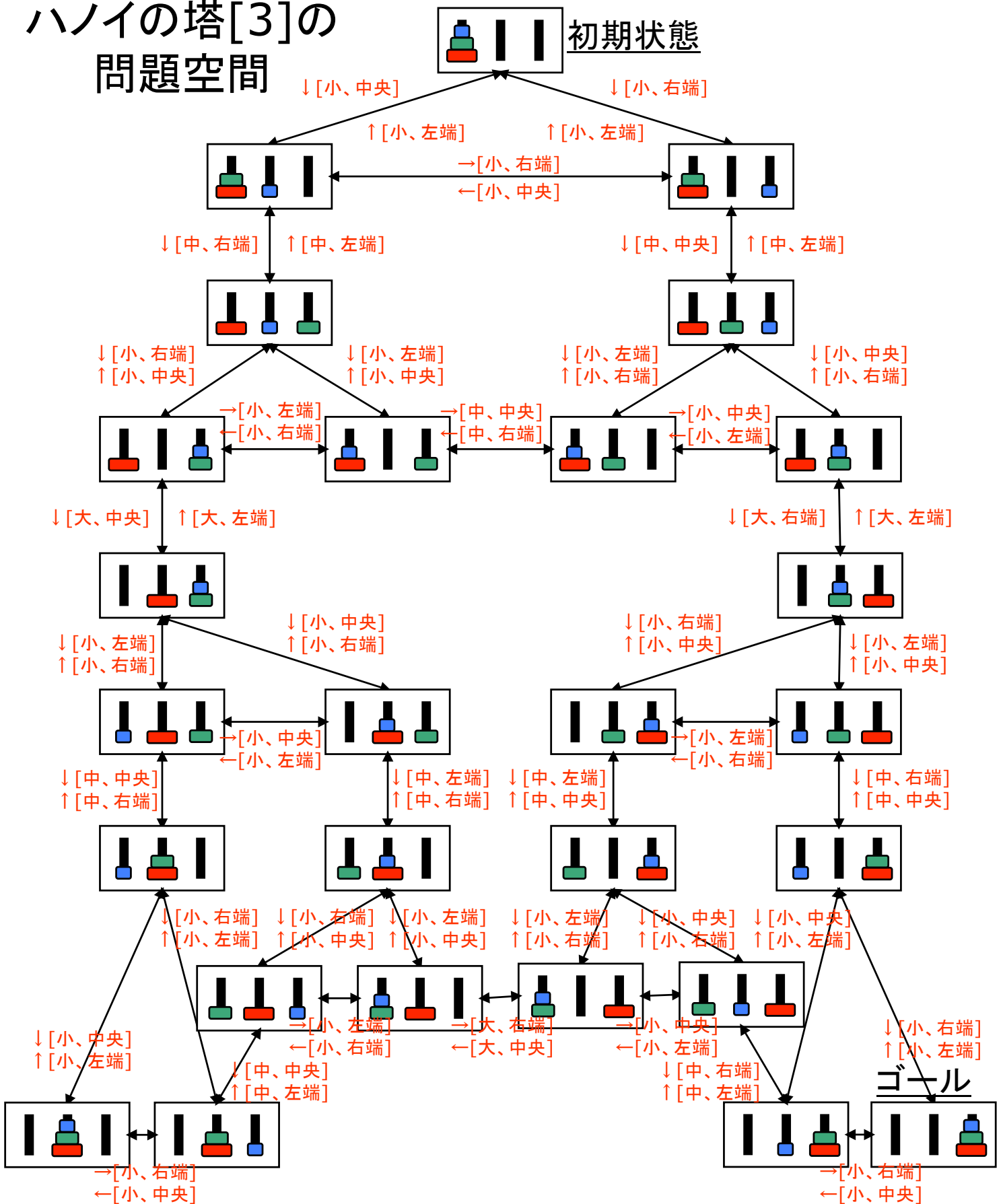


オペレータ(ハノイの塔)

□ 何を、何処に

1. [小、左端]: 円盤[小]を棒[左端]に移動
2. [小、中央]: 円盤[小]を棒[中央]に移動
3. [小、右端]: 円盤[小]を棒[右端]に移動
4. [中、左端]: 円盤[中]を棒[左端]に移動
5. [中、中央]: 円盤[中]を棒[中央]に移動
6. [中、右端]: 円盤[中]を棒[右端]に移動
7. [大、左端]: 円盤[大]を棒[左端]に移動
8. [大、中央]: 円盤[大]を棒[中央]に移動
9. [大、右端]: 円盤[大]を棒[右端]に移動

ハノイの塔[3]の問題空間



＜動作原理9＞

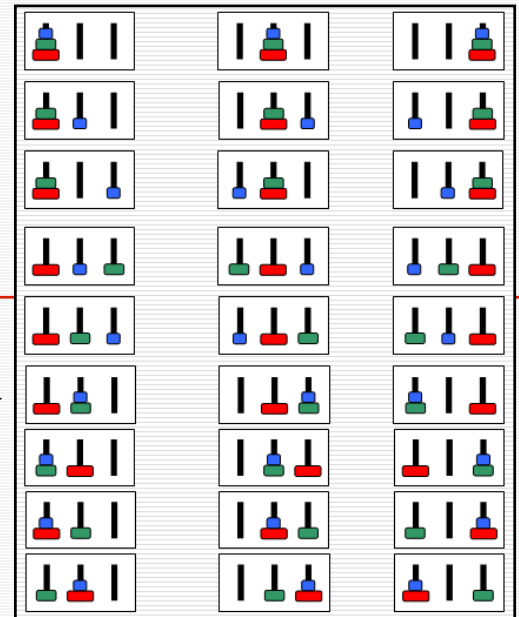
問題空間原理

Problem Space Principle

人間が問題を解決するために行う合理的なアクティビティは次の項目によって記述される。

1. 状態に関する知識、
2. 状態を更新するためのオペレータ、
3. オペレータを適用する際の制約条件、
4. 次に適用すべきオペレータを決定するための制御知識。

「ハノイの塔を解く」過程を記述するための項目



1. 状態に関する知識 →

2. 状態を更新するためのオペレータ

3. オペレータを適用する際の制約条件

1. [小、左端]: 円盤[小]を棒[左端]に移動
2. [小、中央]: 円盤[小]を棒[中央]に移動
3. [小、右端]: 円盤[小]を棒[右端]に移動
4. [中、左端]: 円盤[中]を棒[左端]に移動
5. [中、中央]: 円盤[中]を棒[中央]に移動
6. [中、右端]: 円盤[中]を棒[右端]に移動
7. [大、左端]: 円盤[大]を棒[左端]に移動
8. [大、中央]: 円盤[大]を棒[中央]に移動
9. [大、右端]: 円盤[大]を棒[右端]に移動

規則1) 一度に移動できる円盤は一つだけ。
規則2) 円盤は、より小さいものが上になるように置く。

問題空間が
定義される

4. 次に適用すべき
オペレータを決定
するための制御知識

問題空間を遷移する方法が定義される

- 小円盤の移動ルール:
 - ▶ Nが奇数の場合: 右端⇒中央⇒左端(左方向に巡回)の順に移動する
 - ▶ Nが偶数の場合: 中央⇒右端⇒左端(右方向に巡回)の順に移動する
- 小円盤以外の円盤の移動ルール
 - ▶ 移動可能な円盤を、移動可能な棒に移動する(小円盤のない棒)

問題空間原理が存在するわけ

- コンピュータに解かせる場合 …… 速い
 - ⇒ 問題空間を利用しない
 - ▶ 【ハノイの塔】
 - 初期状態(3-2-1,0,0)
 - ゴール状態(0,0,3-2-1)
 - 移動規則
 - ▶ コンピュータの解法:
 - 現在の状態に対して順次オペレータの適用を試み、適用可能であれば実行する。実行した結果が、既に訪れたことのある状態であったらバックトラックする。ゴール状態が生じたら停止する
 - ▶ 【換字計算問題】
 - DONALD + GERALD = ROBERT
 - CROSS + ROADS = DANGER
 - 文字に0から9の異なる整数を割り当てる
 - ▶ コンピュータの解法:
 - 9!通りの組み合わせを片端から試す
- 人間が解く場合 …… 遅い
 - ⇒ 問題空間を利用する
 - ▶ 遅い(～70msec/計算)ので工夫が必要
 - ▶ 合理性の視点から工夫 ← 合理性原理の適用
 - ▶ 工夫は、「次に適用すべきオペレータを決定するための制御知識」として、問題空間内の遷移に適用される
 - ⇒ 問題空間原理

制御知識の具体的な形式

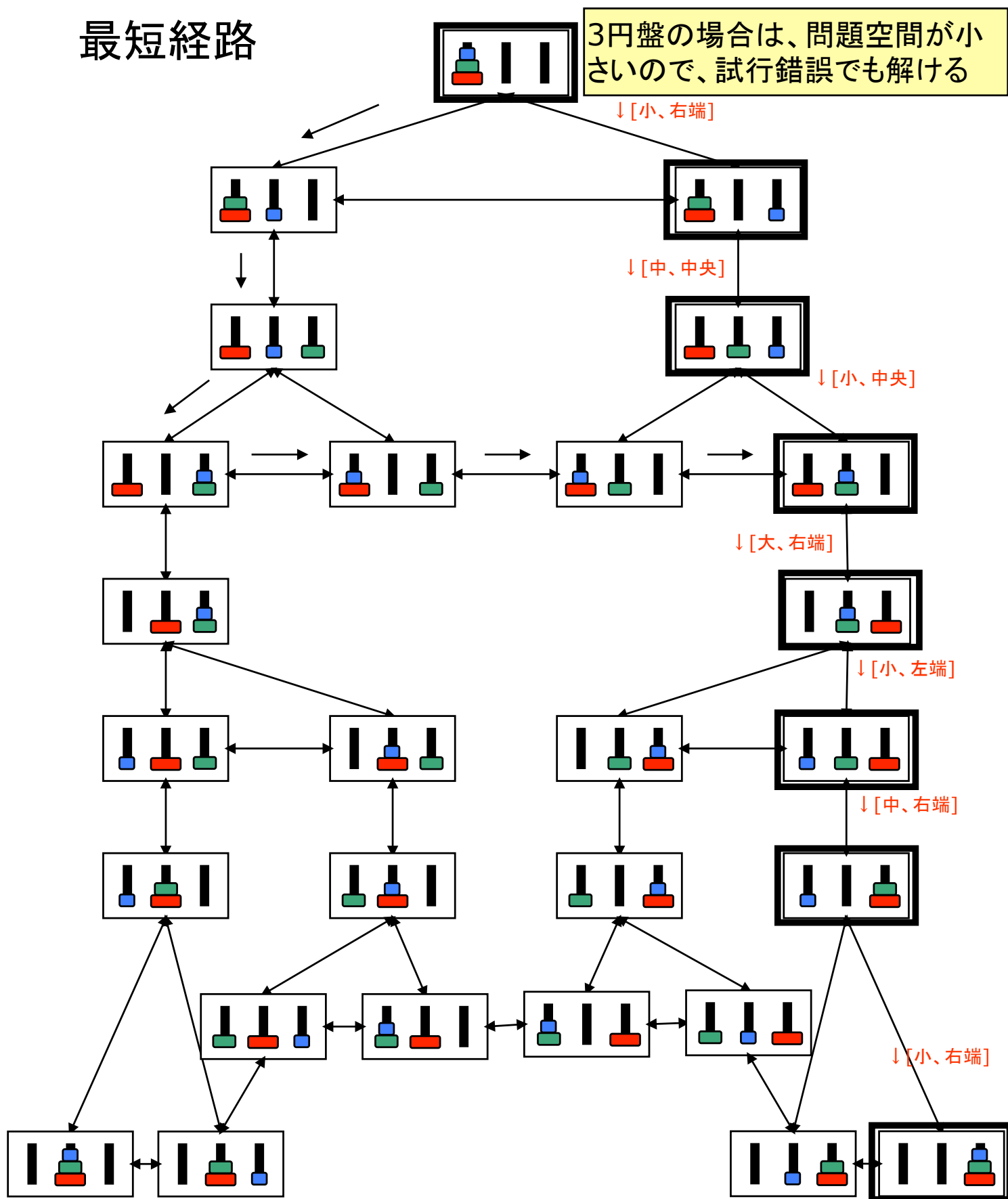
□ ハノイの塔

1. 試行錯誤(過去に訪れた状態には再訪しないようにする)
2. ゴール状態からの後ろ向き推論による有効な手の選択
3. パターン化された円盤移動規則を適用

□ 換字計算問題

1. 試行錯誤(すでに試した組み合わせは行わないようにする)
2. 式を吟味し、割り当て可能な数字の範囲を狭めて、試行錯誤の範囲を狭める(簡単な推論)

最短経路



問題空間が大きくなったとき、制御知識の質がパフォーマンスに影響する

□ 3円盤問題は簡単に解ける

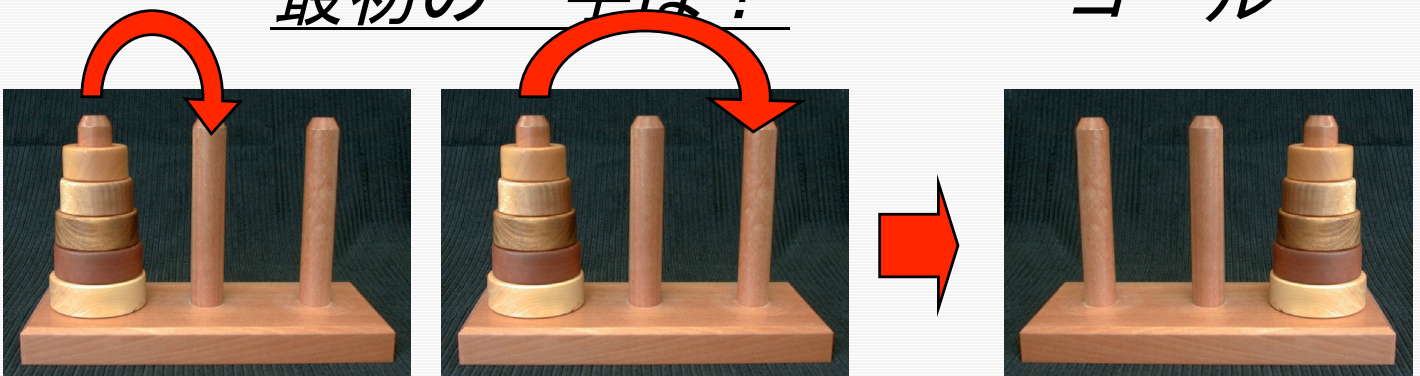
- ▶ 制御知識の内容は大きく影響しない

□ 円盤数が増えたときにはどのように解くのか

- ▶ 制御知識の内容が大きく影響する
- ▶ 5円盤問題の最初の一手は、小円盤を右端の棒に移動するのか、それとも、中央の棒に移動するのか？

最初の一手は？

ゴール

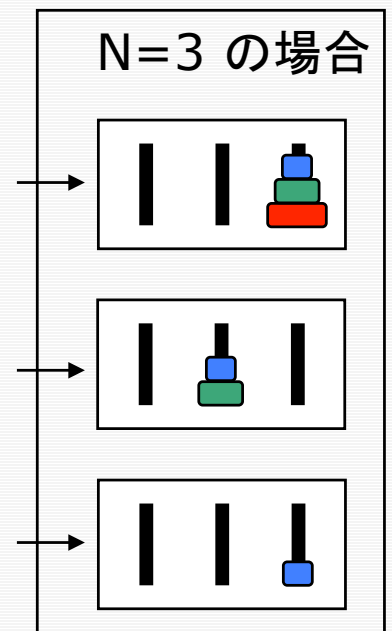


- ▶ 8円盤問題ではどうか？

推論による制御(制御知識2) ・・・作業記憶の負荷大

□ ゴールから逆方向に推論する

- ▶ N円盤問題のゴール状態
(0,0,N)を達成するためには、
- ▶ N-1円盤問題のゴール状態
(0,N-1,0)を達成すればよい。
そのためには、
- ▶ N-2円盤問題のゴール状態
(0,0, N-2)を達成すればよい。
そのためには、・・・



□ 推論をするのに大きなスタックが必要

- ▶ 小円盤を移動させた後の手は、一通りしかないが、その後に、小円盤を移動させるときには、サブピラミッド問題達成に向けて、移動を計画する
- ▶ $(5-4-3-2-1, 0, 0) \Rightarrow (5-4-3-2, 0, \underline{1}) \Rightarrow$
 $(5-4-3, 2, 1) \Rightarrow (5-4-3, \underline{2-1}, 0) \Rightarrow$
 $(5-4, 2-1, 3) \Rightarrow (5-4-1, 2, 3) \Rightarrow$
 $(5-4-1, 0, 3-2) \Rightarrow (5-4, 0, \underline{3-2-1}) \Rightarrow \dots$

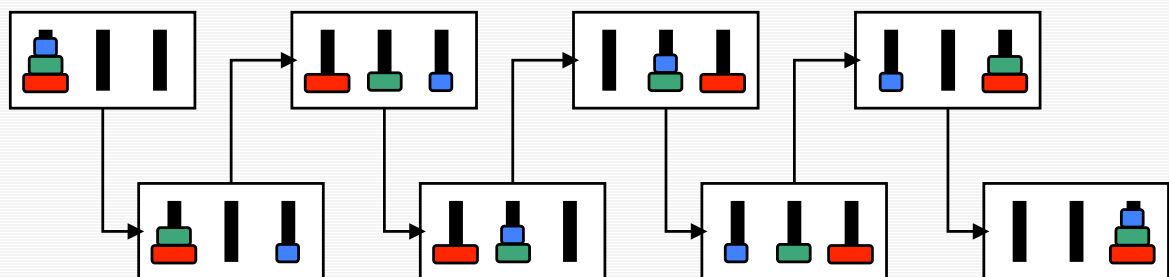
移動パターンを発見し、制御知識として利用する(制御知識3)

□ 最初の一手のルールを一般化

- ▶ Nが奇数の場合は、右端の棒に移動する
- ▶ Nが偶数の場合は、中央の棒に移動する

□ さらに、次のルールを適用

- ▶ 小円盤を移動させたら、次の一手は、移動できる円盤を移動する。
- ▶ その次に、小円盤を移動する。
 - Nが奇数の場合は、右端⇒中央⇒左端（左方向に巡回）の順に、移動させる
 - Nが偶数の場合は、中央⇒右端⇒左端（右方向に巡回）の順に、移動させる



小円盤の移動 右端 → 中央 → 左端 → 右端

移動パターンによる制御・・・作業記憶の負荷小

問題空間において操作を決めるルール

1. 小円盤の移動ルール:

- ▶ Nが奇数の場合: 右端⇒中央⇒左端
(左方向に巡回)の順に移動する
- ▶ Nが偶数の場合: 中央⇒右端⇒左端
(右方向に巡回)の順に移動する

2. 小円盤以外の円盤の移動ルール

- ▶ 移動可能な円盤を、移動可能な棒に移動する(小円盤のない棒)

移動パターンによる制御の例

□ N=奇数 の場合

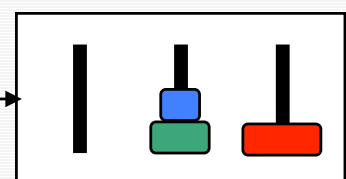
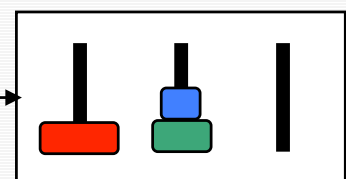
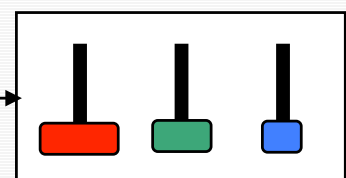
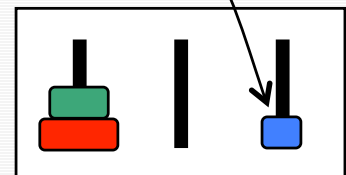
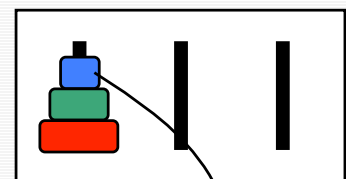
作業記憶の内容

1. 小円盤の移動ルール(左方向巡回)
2. 小円盤以外の円盤の移動ルール
3. 直前に移動した円盤=小
4. 移動する(円盤=中、移動先=中央)

1. 小円盤の移動ルール(左方向巡回)
2. 小円盤以外の円盤の移動ルール
3. 直前に移動した円盤=中
4. 移動する(円盤=小、移動先=中央)

1. 小円盤の移動ルール(左方向巡回)
2. 小円盤以外の円盤の移動ルール
3. 直前に移動した円盤=小
4. 移動する(円盤=大、移動先=右端)

状態



換字計算問題

	U	E
	R	O

試行錯誤による解の探索

	D	O	N	A	L	D
+	G	E	R	A	L	D
	R	O	B	E	R	T

D=5	T=0	L=1	R=3	G<0	☐		68回の試行錯誤ですんだ			
		L=2	R=5	G=0	☐					
		L=3	R=7	A=1	E=2	☐				
				A=2	E=4	☐				
				A=4	E=8	☐				
				A=6	E=2	☐				
				A=8	E=6	☐				
				A=9	E=8	☐				
		L=4	R=9	A=1	E=2	☐	×4	=48		
				A=2	E=4	☐				
				A=3	E=6	☐				
				A=6	E=2	☐				
				A=7	E=4	☐				
				A=8	E=6	☐				
		L=6	R=3	G<0	☐					
		L=7	R=5	☐						
		L=8	R=7	A=1	E=3	☐				
				A=2	E=5	☐	×4	=12		
				A=3	E=7	☐				
				A=4	E=9	N=1	B=8	☐		
						N=2	B=9	☐		
						N=3	B=0	☐		
						N=6	B=3	O=1	G=2	☐
						N=6	B=3	O=2	G=1	

換字計算問題

試行錯誤による解の探索

$$\begin{array}{r}
 C R O S S \\
 + R O A D S \\
 \hline
 D A N G E R
 \end{array}$$

D=1	S=0	R=0	□						
	S=2	R=4	E=3	C=9	A=3	□			
					A=4	□			
				C=8	A=2	□			
					A=3	□			
				C=7	A=1	□			
					A=2	□			
				C=6	A=0	O=G	□		
					A=1	□			
				C=5	A=0	O=G	□		
	S=3	R=6	E=4	C=9	A=5	O=0	G=5	□	
						O=2	G=7	N=8	A=5

試行錯誤をしているときの 換字計算問題のオペレータ

□ オペレータ

1. 1文字に1数字を割り当てる
2. 一つの桁に注目し、他の割り当ての可能性や、ありえない割り当てを推測する
3. 1文字に対して、可能な数字を決定する
4. 1文字に対して、1つの数字を決定する

- 試行錯誤をしているとき、観察される行動は一見したところ複雑に見えるが、詳しく調べてみると、少数の要素的オペレータによって生成されていることが分かる

式の制約を利用して、試行錯誤の回数を少なくする(制御知識2)

	D	O	N	A	L	D
+	G	E	R	A	L	D
	R	O	B	E	R	T

1. D=5
2. T=0
3. 第2桁: $2L+1=R$ or $2L+1=10+R$
 $\dots R$ は奇数
 第6桁: $G \neq 0, D=5 \Rightarrow R > 5$
 $R=7$ or $9 \leftarrow$ 候補として保持
4. 第5桁: $O+E=O \dots E=0$ or 9
 $T=0$ は確定しているので
E=9
5. ステップ3において、R=7 が確定
6. 第3桁: $E=2A$ or $2A+1$
 $E=9$ なので、A=4 が確定
 また、 $2L > 10$
7. 第2桁: $2L > 10$ (ステップ6) より、
 $2L+1=10+R$ (ステップ3)
 $R=7$ (ステップ5) なので、L=8 が確定
8. 第6桁: 第5桁において $O+E(=9) > 10$ なので、
 $D(=5)+G+1=R(=7)$ より、G=1
9. 残っているのは、 $(2,3,6)(N,B,O)$

試行錯誤の回数は、 $3!=6$ 回にまで、少なくなる

オペレータについて

- 複雑な行動は、要素的な行為からなっている
- 要素的な行為が作用(オペレート)して、外界の状態の物理的な変化やユーザの心的状態の変化を生じさせる
- 「要素的な行為」＝「オペレータ」
- 互いに独立なオペレータを定義できる
 - ▶ オペレータが単独で実行されたときに要する時間 = オペレータが系列の中で実行されたときに要する時間
- 全タスクを遂行する過程は要素オペレータに分解し、それらの系列として近似的に表現できる。また、要素オペレータの所要時間は、全タスクから切り離して測定できる

オペレータの独立性を確認する 為の実験

□ オペレータ時間の計測

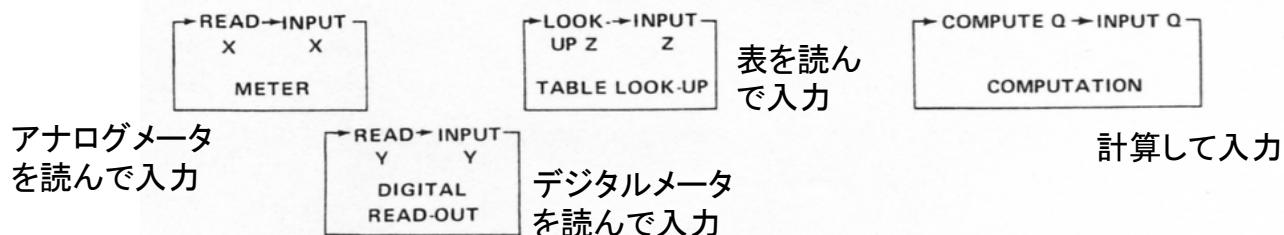
1. アナログメータから数値を読み取り、入力する
2. デジタルメータから数値を読み取り、入力する
3. 表から数値を読み取り、入力する
4. 入力した数値を使って計算して、結果を入力する

□ 複合タスクの遂行時間の計測

- ▶ ①アナログメータから数値を読み取り入力し、次に、②デジタルメータから数値を読み取り入力し、次に、③表から数値を読み取り入力し、最後に、④入力した数値を使って計算を行い、その結果を入力する

独立に実行した場合

(a) INDEPENDENT TASKS



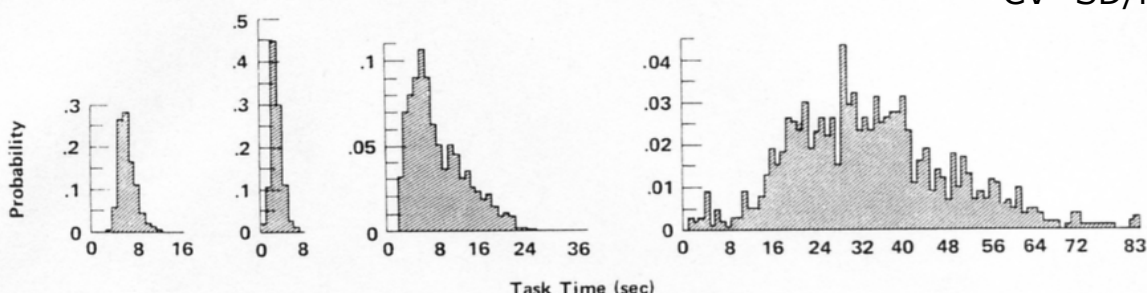
N = 986
Median = 6.04
Mean = 6.24
CV = .25

N = 987
Median = 3.36
Mean = 3.45
CV = .26

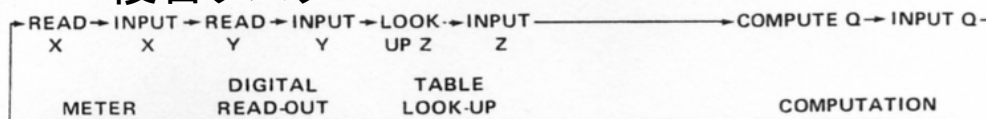
N = 984
Median = 7.99
Mean = 9.26
CV = .55

N = 989
Median = 32.83
Mean = 34.20
CV = .43

CV=SD/Mean



複合タスク (b) INTEGRATED TASK



N = 1226
Median = 6.31
Mean = 6.67
CV = .31

N = 1230
Median = 3.33
Mean = 3.47
CV = .30

N = 1225
Median = 8.36
Mean = 10.80;
CV = .65

N = 1236
Median = 30.04
Mean = 31.19
CV = .48

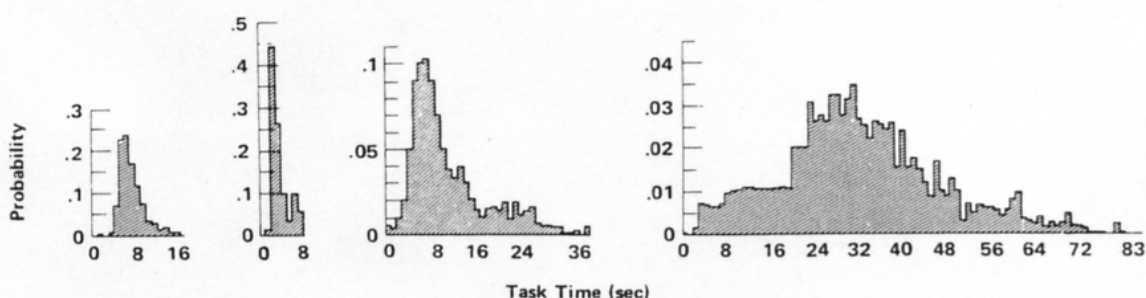


Figure 2.28. Time distributions for four operators (a) when measured in isolation and (b) when measured as part of an integrated task.

Five university students performed each of the following operators: READ-METER-AND-TYPE-INPUT, READ-DIGITAL-DISPLAY-AND-TYPE-INPUT, READ-X-Y-AND-LOOKUP-Z, READ-X-Y-Z-AND-COMPUTE-Q. They performed the operators both in isolation and as part of a larger integrated task. From Mills and Hatfield (1974, Figures 3 and 4).

【複雑な情報処理】

例19:オペレータ系列

【問題】

- 図2.28bの実験で、タスクを通して実行したときに要する時間は、51.56 sec だった。図2.28aから予測される時間にどれくらい近いだろうか

【複雑な情報処理】

例19:オペレータ系列

【解答】

$$\begin{aligned}T_{\text{independent}} &= 6.24 + 3.45 + 9.26 + 34.20 \\ &= 53.15 \text{ sec}\end{aligned}$$

$$(51.56 - 53.15) / 53.15 = -3\%$$

$$\begin{aligned}SD_{\text{independent}} &= \sqrt{1.56^2 + 0.90^2 + 5.09^2 + 14.71^2} \\ &= 15.67 \text{ sec}\end{aligned}$$

$$CV_{\text{independent}} = SD_{\text{independent}} / T_{\text{independent}} = 15.67 / 53.15 = 0.29$$

$$CV_{\text{integrated}} = SD_{\text{integrated}} / T_{\text{integrated}} = 18.85 / 51.56 = 0.37$$

$$(0.37 - 0.29) / 0.29 = 28\%$$

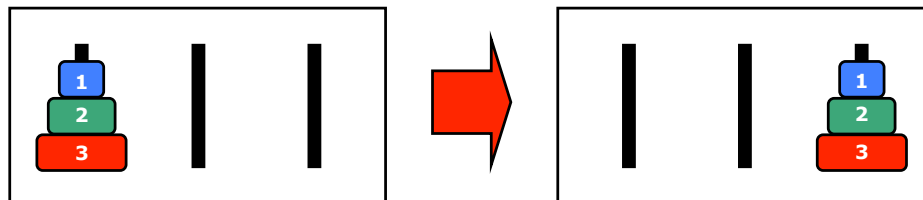
課題を解くにあたっての注意事項

- 今日は、パズルのような問題を解くときに適用される認知過程について勉強します。
- 「ハノイの塔」(1問)と「換字計算問題」(2問)を、解いてください。
- 自分がどのようにして解いたのかをあとで思い出せるように、解く過程を記録しておいて下さい(消しゴムで消さない)。
- 正解が得られたという結果が重要なのではなく、正解を導き出そうとするプロセスが話題の中心なので、その点に留意して、問題を解いてください。
- 時間:20分

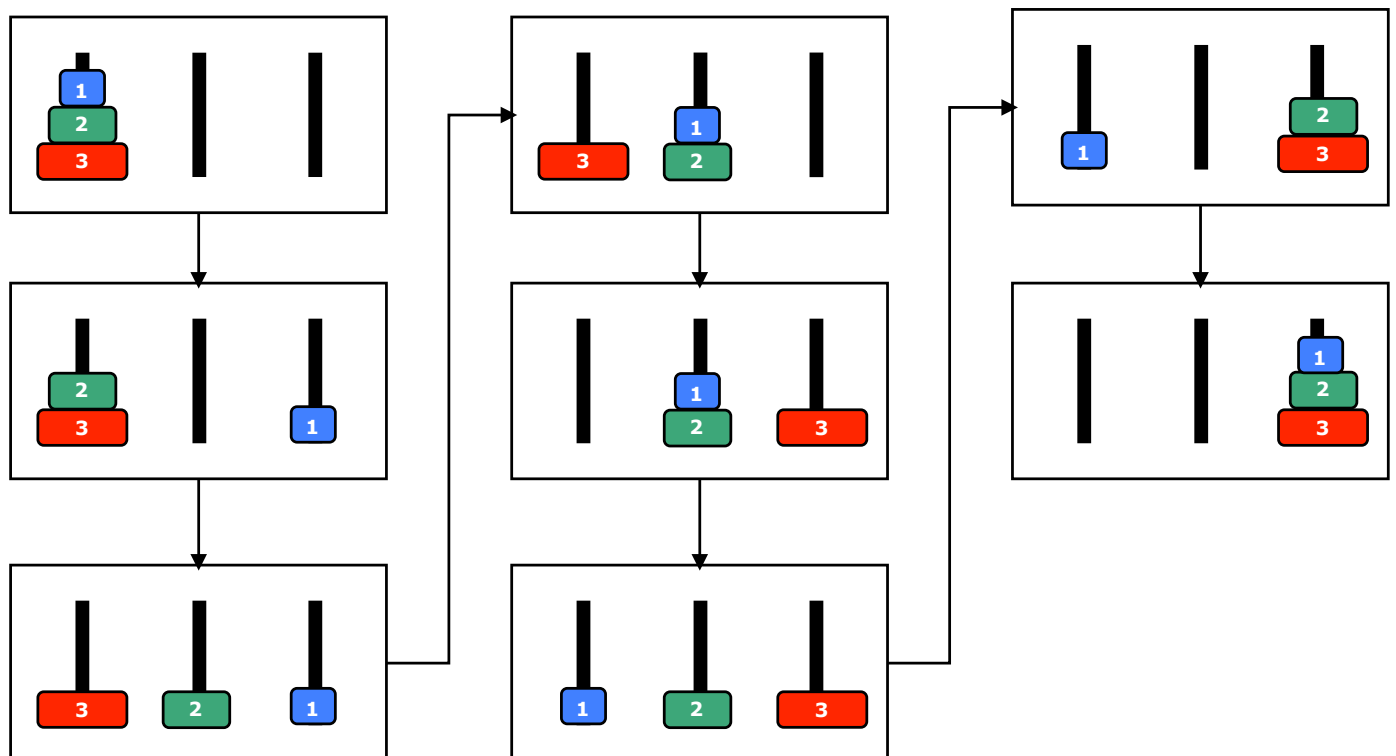
問題(ハノイの塔): 3種類の大きさを持つ円盤と3本の棒があります。円盤は、より小さいものが上になるようにして、左端の棒にささっています(下の左図)。円盤を、下の規則にしたがって移動させて、下の右図の状態にします。どのような順序で円盤を移動すればいいでしょうか。

規則1) 一度に移動できる円盤は一つだけ。

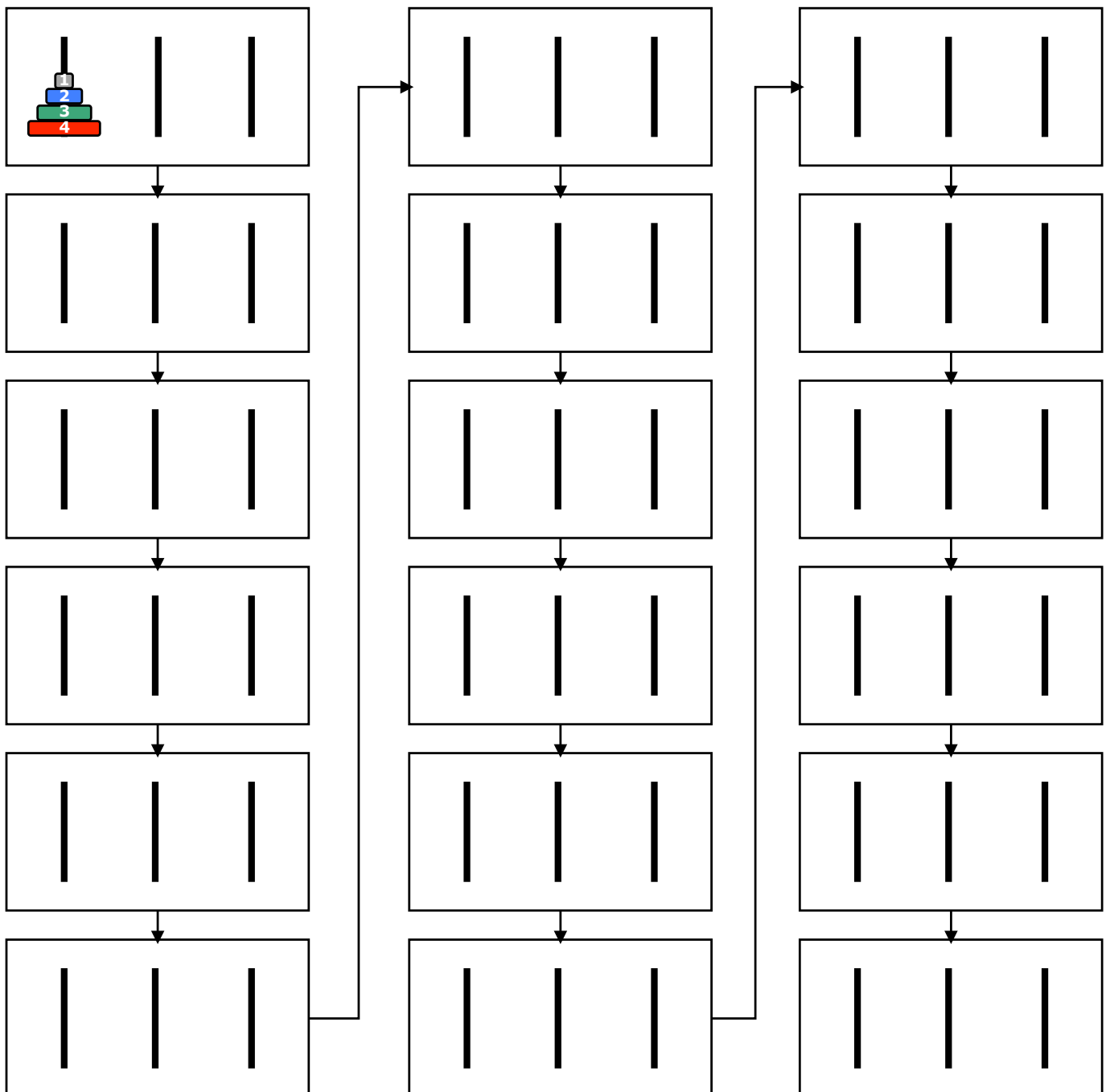
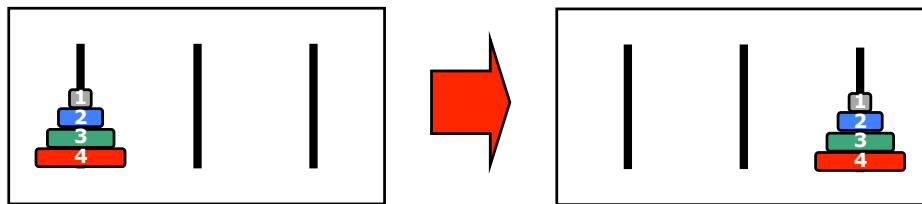
規則2) 円盤は、より小さいものが上になるように置く。

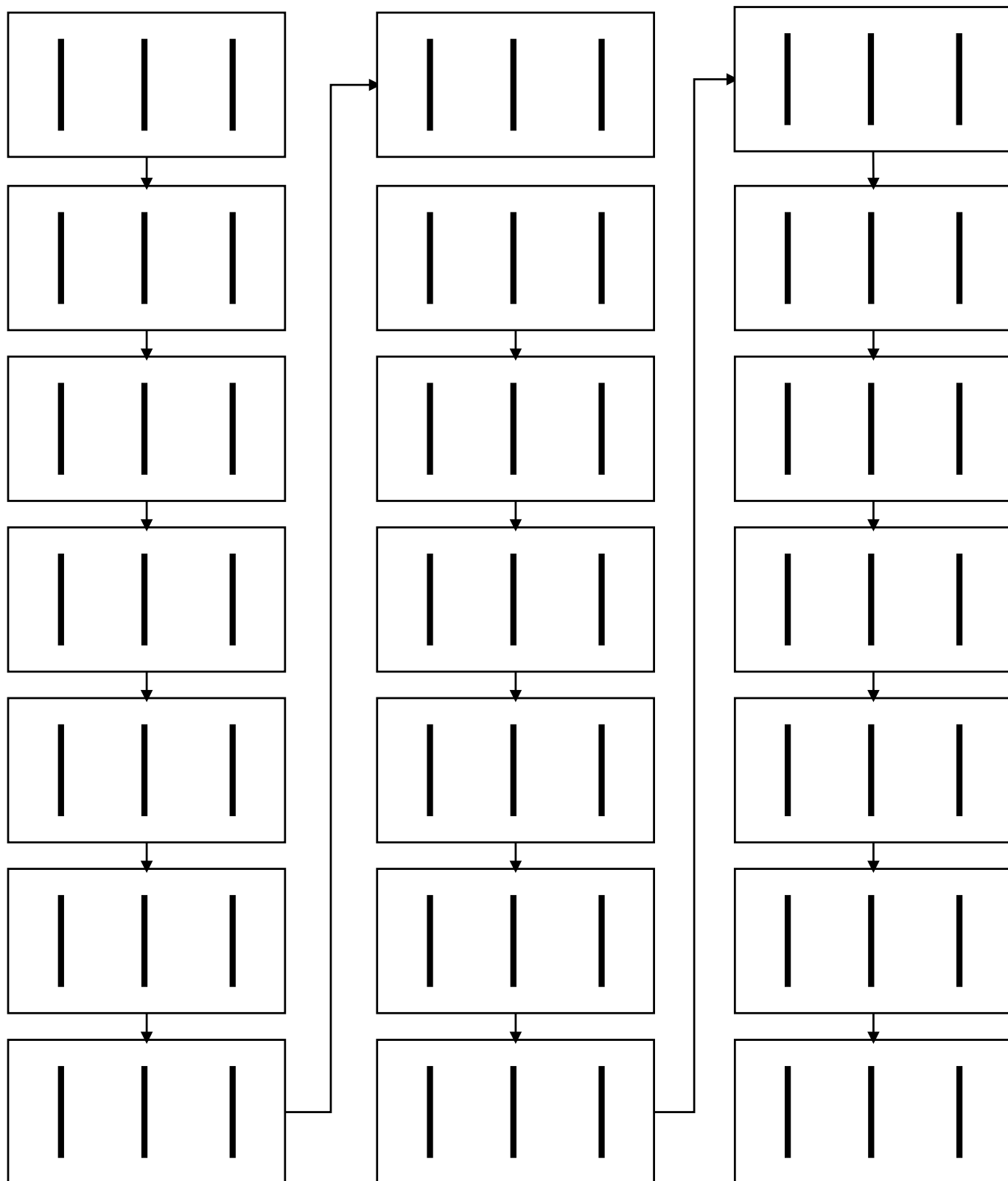


回答例



問題1 (ハノイの塔): 4種類の大きさを持つ円盤がある場合について、同様に解いてみましょう。





問題2(換字計算問題): 下の式が成り立つように、各アルファベットに異なる数字(0~9)を重複なく割り当てなさい。ただし、D=5 とする。

	D	O	N	A	L	D
+	G	E	R	A	L	D
	R	O	B	E	R	T

答え

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					D				

問題2(換字計算問題): 下の式が成り立つように、各アルファベットに異なる数字(0~9)を重複なく割り当てなさい。ただし、D=5 とする。

	D	O	N	A	L	D
+	G	E	R	A	L	D
	R	O	B	E	R	T

	5	2	6	4	8	5
+	1	9	7	4	8	5
	7	2	3	9	7	0

答え

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T	G	O	B	A	D	N	R	L	E

問題3(換字計算問題): 下の式が成り立つように、各アルファベットに異なる数字(0~9)を重複なく割り当てなさい。

		C	R	O	S	S
+		R	O	A	D	S
	D	A	N	G	E	R

答え

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

問題3(換字計算問題): 下の式が成り立つように、各アルファベットに異なる数字(0~9)を重複なく割り当てなさい。

		C	R	O	S	S
+		R	O	A	D	S
	D	A	N	G	E	R

		9	6	2	3	3
+		6	2	5	1	3
	1	5	8	7	4	6

答え

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	D	O	S	E	A	R	G	N	C