

Sketching as mental imagery processing.

Kavakli, M. and Gero, J. S. (2001) Sketching as mental imagery processing, *Design Studies*, 22(4), pp.347-364.

Abstract

被験者の発話プロトコル分析 (design protocol) によって、ノービスとエキスパート・デザイナーの認知的な行為に違いが存在する。本研究では、その可能な原因について調べ、情報処理の観点から、デザイナーの図を描き(スケッチ)と(描かれた)スケッチを認識する経験に基づいて、心的イメージ/心像(mental imagery)理論を用いて、これらのエキスパートとノービスとの認知的な行為の差異の解釈を試みる。

Atkinson, et al. (2000). Hilgard's Introduction to Psychology. (13th ed.), Orland, FL: Hartcourt College Publishers.

- mental imagery (心的イメージ) = 写真のような心的表象のこと。しかし、直観像 (eidetic imagery) とは異なる。
- eidetic imagery (直観像) = ほぼ写真のような鮮明な状態で、光景の視覚イメージを保持しつづけられる能力のこと。この種のイメージは、単に記憶するよりはるかに詳細な部分まで描き出せる。
- mental model (メンタル・モデル) = 問題状況に関する具体的な心的表象 (mental representation) のことで、問題解決に役立つと考えられる。
- mental representation (心的表象) = 人間の記憶における事物や事象についての仮定された「内的表象」のこと。ある研究者は心的表象を「心の中の絵」を表したものと考えている一方で、別の研究者は心的表象には数学者が使う命題論理と同じ抽象的な特徴づけ(情報がデジタル・コンピュータで表される方法)が含まれる。

<http://shishimi13.b4.shudo-u.ac.jp/Glossary.html>

1. Introduction

✚ 先行研究

- (Kavakli et al., 1999): 被験者の発話プロトコル分析 (design protocol) によって、ノービスとエキスパート・デザイナーの認知的な行為に違いが存在する。

✚ 本研究の主張

- ノービスとエキスパートの概念的デザイン・プロセス (conceptual design process) における認知的な行為に違いが存在するのは、デザイナーの図を描き(スケッチ)と(描かれた)スケッチを認識することである情報処理効率に違いがあるから。
- それを解明するために、まず、心像 (imagery) と知覚の関係を調べ、次に、デザイナーの認知的な行為の違いを説明しながら、心的イメージ処理としてのスケッチについて検討した。

1.1 Imagery and perception 心像と知覚の関係

✚ (Farah, 1988, Finke, 1980, 1989)

- 心像と知覚は同じタイプの神経メカニズム (neural mechanism) を共有する。

✚ (Kosslyn, 1995)

- しかも心像の全ての特徴化 (characterization) が知覚に基づいて生成された。

✚ (Finke et al., 1992)

- 心像は色々な知覚のような (perception-like) 特性を示した。

- ✚ 視覚を用いて、物体とその部品や特徴を認識すると同様、我々も心像にある想像された物体を認識し、記憶から必要な情報検索できる。特に状態が変わったり、変形したりする物体の空間的關係を知りたいとき、心像は使われる。
- ✚ (Finke & Shepard, 1986, Kosslyn, 1995)
 - 以上にある心像と知覚の対応している関係により、心像は認識(recognition)と一部の処理メカニズムを共有する。

1. 2 Mental imagery versus physical

- ✚ 知覚処理過程
 - 心像に対する知覚処理過程と、物理的な物体に対する知覚処理過程はほぼ同じ方法で処理された。その故に、心像にある物体は、物理的に実在する物体と同じ方法で解釈できる(Finke, 1990)。
 - ただし、時間につれて衰える特性があるため、同じ程度の処理効率が得られません(Pinker, 1984)。
- ✚ 機能、働き
 - 心像にある物体は、物理的に実在する物体と同じ機能、働きを持つ;(Farah, 1985, Finke, 1980, 1986a, Finke & Kurtzman, 1981, Podgorny & Shepard, 1978, Shepard, 1984, Shepard & Cooper, 1982)。
 - (Finke et al., 1992)
 - ◇ 心理的パターン統合(mental synthesis)と物理的パターン統合(physical synthesis)には有意差なし、両方は少なくとも同じ効果が得られる。いわゆる、創造的パターンを発見することには、心像で十分。
 - (Anderson & Helstrup, 1993a, b)
 - ◇ 物理的パターン統合(physical synthesis)には、被験者はより数多いパターンを生成したが、生成されたパターンはより創造的ではなかった。
- ✚ 認知負荷
 - 心理的パターン統合(mental synthesis)の負荷がより低い。なぜなら、物理的世界にある物体の増加につれて、心像には容量が有限的なので、つまり、一つの心像が同時に扱える物体の部品や特徴の数が限られる。(だから、それらの部品と特徴を扱うだけ)(Kosslyn, 1975, 1980)

以上にある心像と知覚に関する研究によると、心像理論を用いてのノービスとエキスパートの認知的行為の違いを解釈することができる。

2. Cognitive Actions in Imagery Processing

- ✚ 認知的行為をコーディング(coding)するスキーマ
 - (Suwa et al., 1998a; Suwa & Tversky, 1997)
 - ◇ 独立なコーダー2名がコーディング・スキーマを用いて、ノービスとエキスパートの発話とビデオ・プロトコルをコーディングする。
- ✚ 被験者(2名)
 - ノービス1名: 建築学科2年生
 - エキスパート1名: 25年以上経験ある開業建築士

ただし、被験者数が少ないことについて、本研究手法が有効かどうかと調べるためだけ。

2. 1 Codes of cognitive actions

- ✚ プロトコル分析には(Dorst & Dijkhuis, 1995) 2 種類がある。
 - プロセス指向(process-oriented)
 - コンテンツ指向(content-oriented): **本研究が採用する**

- ✚ (Suwa & Tversky, 1996)
 - デザイナーが見たり、注意を向けたり、考えたりするコンテンツを、4 種類の情報カテゴリーに分けた。
 - ◇ 視覚的情報
 1. Depicted elements and their perceptual features 知覚特徴
 2. Spatial relations 空間的關係
 - ◇ 非視覚的情報
 3. Functional thoughts 機能
 4. Knowledge 知識

- ✚ コーディング手続き
 - デザイン・セッション(design session)の後、プロトコルを記録。
 - プロトコルがいくつかのセグメント(segment)に分割し、インデックス(index)をつけて、4 種類情報カテゴリーにコーディングする。

- ✚ 各セグメントにあるデザイナーの認知的行為を、さらに 4 種類の異なるモードにコーディングする。
 - Physical 物理的
 - Perceptual 知覚的
 - Functional 機能的
 - Conceptual 概念的

- ① **Physical actions**
 - ◇ D-actions: 部品(element)を描く、跡を付ける、別の紙に複写する。(6種類のサブ・カテゴリー)
 - ◇ L-actions: 先ほど描いた部品に注意を向ける(見るだけ)。
 - ◇ M-actions: 描く動き、動作。(6種類のサブ・カテゴリー)

Table 1 Subcodes of D-actions and M-actions in the category of physical actions

<i>D-actions: drawing actions</i>	<i>M-actions: moves</i>
Dc: create a new depiction	Moa: motion over an area
Drf: revise an old depiction	Mod: motion over a depiction
Dts: trace over the sketch	Mrf: move attending to relations or features
Dtd: trace over the sketch on a different sheet	Ma: move a sketch against the sheet beneath
Dsy: depict a symbol	Mut: motion to use tools
Dwo: write words	Mge: hand gestures

② Perceptual actions

◇ P-actions(8種類のサブ・カテゴリ)

- Related to implicit spaces: 下地(塗り)を言及する。
- Related to features: 形、大きさ、テクスチャを言及する。
- Related to relations: 各部品の空間的關係と全体的組織、類似、対比、相違と距離、位置、横断、繋ぎを言及する。

Table 2 Codes of P-actions

<i>P-actions: Perceptual actions related to implicit spaces</i>	<i>P-actions: perceptual actions related to features</i>	<i>P-actions: perceptual actions related to relations</i>
Psg: discover a space as a ground	Pfn: attend to the feature of a new depiction	Prn: create or attend to a new relation
Posg: discover an old space as a ground	Pof: attend to an old feature of a depiction Pfp: discover a new feature of a new depiction	Prp: discover a spatial or organizational relation Por: mention or revisit a relation

③ Functional actions

◇ F-actions(6種類のサブ・カテゴリ): スケッチの中で、意味、機能、抽象的概念を持つ視・空間的特徴の関連付け。

Table 3 Codes of F-actions

<i>F-actions: Functional actions related to new functions</i>	<i>F-actions: Functional actions related to revisited functions</i>	<i>F-actions: Functional actions related to implementation</i>
Fn: associate a new depiction, feature or relation with a new function	Fo: continual or revisited thought of a function	Fi: implementation of a previous concept in a new setting
Frei: reinterpretation of a function	Fop: revisited thought independent of depictions	
Fnp: conceiving of a new meaning independent of depictions		

④ Conceptual Actions

- ◇ 好みや審美的なもの、目標を立てる、知識や過去にあった類似なケースを検出すること。本研究では、目標を立てること(G-actions)しか扱わない。
- ◇ G-actions(7種類のサブ・カテゴリ)

Table 4 Codes of G-actions

<i>G-actions: Goals</i>	<i>Subcategories of G1 type goals:</i>
G1: goals to introduce new functions	G1.1: based on the initial requirements
G2: goals to resolve problematic conflicts	G1.2: directed by the use of explicit knowledge or past cases (strategies)
G3: goals to apply introduced functions or arrangements in the current context	G1.3: extended from a previous goal
G4: repeated goals from a previous segment	G1.4: not supported by knowledge, given requirements or a previous goal

2. 2 Rate of cognitive actions

- ✚ 認知的行為、プロトコル分析
 - ノービス 1 名: 建築学科 2 年生
 - ◇ 1027 actions
 - ◇ 122 セグメント
 - エキスパート 1 名: 25 年以上経験ある開業建築士
 - ◇ 2916 actions (2.84 倍)
 - ◇ 348 セグメント (2.85 倍)
 - 概念的デザイン・プロセスでは、エキスパートはより活発な認知的行為を行う。

- ✚ アウトプット、作品の産出 (Fig. 1, Fig. 2)
 - ノービス 1 名: 建築学科 2 年生
 - ◇ 4 枚 / 2 種類
 - エキスパート 1 名: 25 年以上経験ある開業建築士
 - ◇ 13 枚 / 7 種類 (3.25 倍)
 - (Finke et al., 1992) 同じ時間制限内、エキスパートはより多い作品を産出したから、エキスパートは確かにより生産的である。

- ✚ どうしてエキスパートはより活発な認知的行為を行い、まだより生産的なのかを検討するために、ノービスとエキスパートの心像処理の類似と相違点を分析した

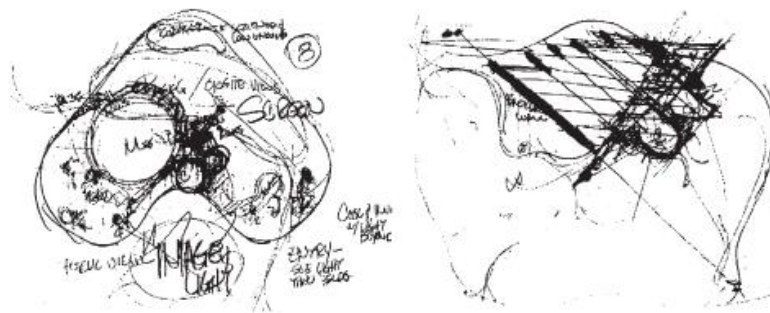


Figure 1 Samples from the sketches of the expert

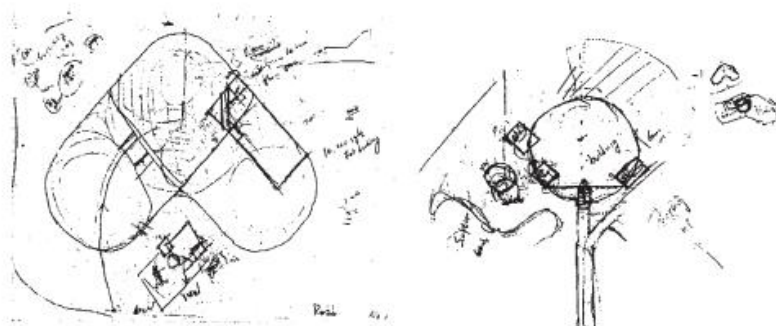


Figure 2 Samples from the sketches of the novice

3. Cognitive Activity of Expert and Novice Designers

✚ 認知的行為の比率(Fig.3)

- ノービス 1 名: 建築学科 2 年生 /
 - ◇ 傾きは-0.11(減る)
- エキスパート 1 名: 25 年以上経験ある開業建築士
 - ◇ 傾きは 0.11(徐々に増す)

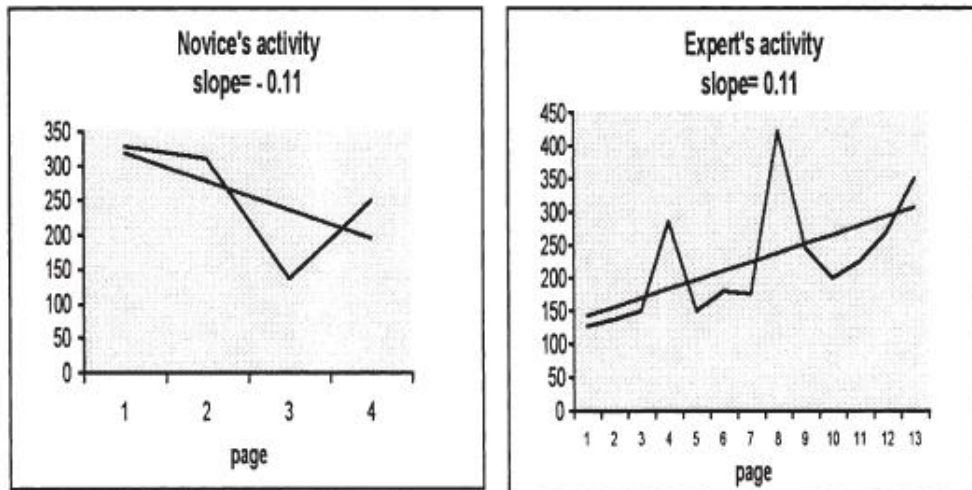


Figure 3 Linear regression graphs of novice's and expert's cognitive activities

✚ 各種類認知的行為の比率(Fig.4)

- 各種類認知的行為の共存する現象(coexistence of the cognitive actions)

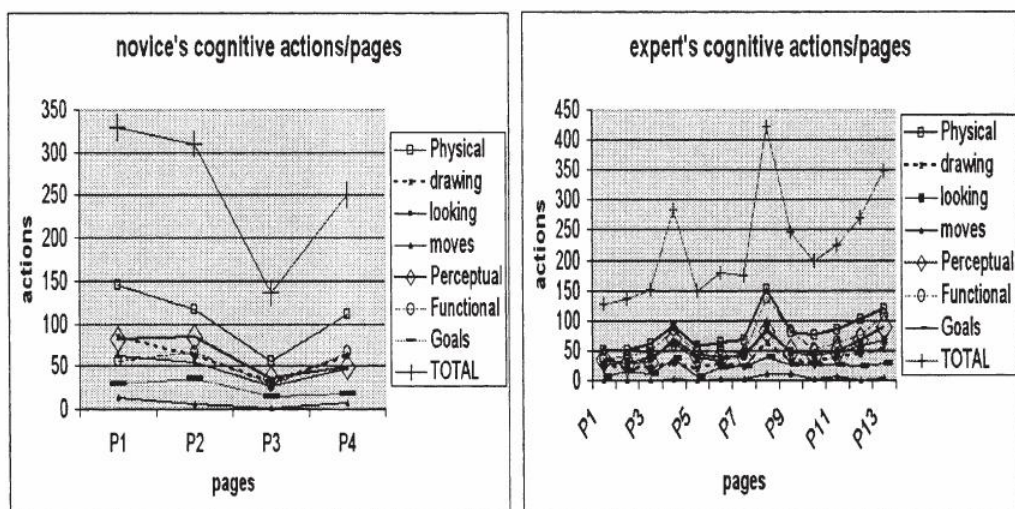


Figure 4 Novice's and expert's cognitive activities

- ✚ ノービスとエキスパートの概念的デザイン・プロセス(conceptual design process)における認知的な行為に違いが存在するのは、デザイナーの図を描き(スケッチ)と(描かれた)スケッチを認識することで情報処理効率に違いがあるでしょうか。

4. Individual Differences in Types of Imagery Processing

- ✚ ノービスとエキスパートの各種類認知的行為の違い比率
 - $X^2 > c$, at 0.5% 有意水準(太字は有意差があった部分)

Table 5 Action categories

<i>Actions</i>	<i>Expert %</i>	<i>Novice %</i>
Physical	38	45
Drawing	15	23
Looking	21	19
Moves	2	3
Functional	30	21
Perceptual	23	25
Conceptual	10	10
Goals	10	10

Table 6 Drawing actions

<i>Drawing actions</i>	<i>Expert %</i>	<i>Novice %</i>
Depicting	34	62
Drawing (Dc)	40	42
Symbols (Dsy)	14	20
Modifying	31	23
Revising (Drf)	13	5
Overtracing (Dts)	11	15
Copying (Dtd)	7	3
Writing (Dwo)	15	15

Table 7 Functional actions

<i>Functional actions</i>	<i>Expert %</i>	<i>Novice %</i>
Revisited functions	42	33
Continual or revisited thought of a function (Fo)	41	32
Continual or revisited thought independent of depictions (Fop)	1	1
New functions	42	45
Associate a new depiction, feature or relation with a function (Fn)	30	32
Reinterpretation of a function (Frei)	11	11
Conceiving of a new meaning independent of depictions (Fnp)	1	2
Implementations	16	23
Implementation of a previous concept in a new setting (Fi)	16	23

Table 8 Perceptual actions

<i>Perceptual actions</i>	<i>Expert %</i>	<i>Novice %</i>
Implicit spaces	14	34
Discovery of a new space as a ground (Psg)	5	12
Discovery of an old space as a ground (Posg)	9	22
Features	22	25
Attention to the feature of a new depiction (Pfn)	9	11
Discovery of a feature of a new depiction (Pfp)	6	6
Attention to an old feature of a depiction (Pof)	7	8
Relations	65	41
Discovery of a spatial or organizational relation (Prp)	17	10
Creation of or attention to a relation (Prn)	28	21
Mention of a relation (Por)	20	10

Table 9 Goals

<i>Goals</i>	<i>Expert %</i>	<i>Novice %</i>
Goals to introduce new functions (G1)	62	75
based on the initial requirements (G1.1)	11	25
directed by the use of explicit knowledge or past cases (G1.2)	16	19
extended from a previous goal (G1.3)	17	7
not supported by knowledge, requirements or goals (G1.4)	18	24
Goals to resolve problematic conflicts (G2)	8	13
Goals to apply introduced functions in the current context (G3)	20	4
Goals repeated from a previous segment (G4)	11	8

- ✚ (kosslyn, 1995)4 タイプの心像処理
 - Generating
 - Inspecting
 - Transforming images
 - Information retrieval form long-term memory

4. 1 Imagery generation いつ、どんな状態で生成

- ✚ (Fig. 3)
 - ◇ エキスパート 2916 actions(2.84 倍):ノービス 1027 actions
 - ◇ エキスパート 348 セグメント(2.85 倍):ノービス 122 セグメント
 - ◇ エキスパート 13 枚/7 種類(3.25 倍):ノービス 4 枚/2 種類
 - ノービス
 - ◇ ノービスの心像生成スピードは認知的行為と同じ遅く。
 - ◇ 認知的行為は、初期に最も活発な状態で、あとは続き減っている。
 - エキスパート
 - ◇ 認知的行為が活発している状態で、スケッチ (page)を描く。
 - ◇ 系統的な発展が見られる。つまり、一つのピークのあと、まだ続き描く。描かれたのは同類なスケッチかもしれないが、この行動はより活発な認知的行為を導かれる(Adelson & Soloway, 1985)。

- ✚ ただし、認知的行為は all-or-none ではない(Kosslyn, 1995)。
 - 各種類の認知的行為には相関があっても、all-or-none ではない。
 - 異なるタスク或いはプロセスに対応する認知的行為があるはず。
- ✚ (Table 8)
 - ノービス: Discovery of a space as a ground. (Psg, Posg)
 - エキスパート: Discovery of a relation. (Prp, Prn, Por)

4. 2 Image inspection どんな情報に注意を向ける

- ✚ (Fig.3, Fig.4) 認知的行為の比率、傾き
 - 活発ではないが、注意を向けているところを見つけられる(Martindale, 1981)
 - このような焦点から離れた行為(Defocused attention)は、より距離遠い特徴との関連を結び付けるし、さらに創造的なプロセスやアウトプットを得られるかもしれない(Thurstone, 1952、Mednick, 1962)。
- ✚ (Table 8/Perceptual action-Relation)
 - Perceptual action-Relation
 - ◇ ノービス 41%
 - ◇ エキスパート 65% (より)
 - Perceptual action-Implicit spaces
 - ◇ ノービス 34%
 - ◇ エキスパート 14%
 - Perceptual action-Features
 - ◇ ノービス 25%
 - ◇ エキスパート 22%
 - エキスパートはより抽象的なものに着目する。
 - ノービスはより具象的なものに着目する。

4. 3 Imagery transformation 外的表象の生成に関わる要因

4. 3. 1 Representational richness 表象豊富性

- ✚ 外的表象の生成、スケッチのアウトプット(Fig.1, Fig.2)
 - ノービス
 - ◇ 「豊かな」作品ではない。
 - エキスパート
 - ◇ より多い時間をかかって、頭の中で構造を考えて、プランニングしてから、スケッチを描き始まる、概念を外化する(Petre & Blackwell, 1997)。
 - ◇ よりよく構造化されたスケッチのため、さらに後はより多い知覚的、認知的推論情報を提供できる。

4. 3. 2 Pattern goodness 良さ、適合度

- ✚ 知覚メカニズムでは、時間をかかって、環境からの各情報インプットを整理して、関連を結び、組織する(Chambers & Reisberg, 1985)。そのゆえ、ノービスの情報処理効率
はより遅くなる一つ可能な原因は、彼らが取得したのはより不十分な、悪い情報インプットかもしれません。
- ✚ (Table 6/Drawing actions)
 - Drawing actions-Modifying-Revising(Drf)
 - ◇ エキスパート 13%:ノービス 5%

✚ (Table 7/Functional actions)

- Revisited functions-Continual or revisited thought of a function(Fo)
 - ◇ エキスパート 41%:ノービス 32%
 - ◇ エキスパートはより空間的關係と機能との結びに着目する

✚ エキスパートは、スケッチをより多く修正する動作を行い、しかもより多い産出しました。ノービスのアウトプットは少ないにもかかわらず、彼らの情報処理効率が低いのは、もしかして、彼らが自身のスケッチからも十分な情報を得られず、所謂、自身のスケッチを理解不能でしょうか？

4. 3. 3 Representational mismatch

✚ 心像と知覚との間違い関連付けたら、パフォーマンスは必ず低下する(Finke, 1990)。つまり心像は知覚プロセスに影響、干渉できる。(4. 3. 2と同様)

4. 3. 4 Image size

✚ (Fig. 2)スケッチの大きさは、見易さ、いわゆる知覚の容易さと等しい、よって情報処理にかかる時間も異なる。

- ノービスはそれぞれの部品を 1 枚の紙に描く。
- エキスパートはそれぞれの部品を、1 枚ずつに描く(大きく、詳細に)。

4. 3. 5 Mental rotation

✚ 情報処理時間に影響を与える

- 物体の各面を想像し、心像で回転させ、よってそれぞれの可能な特徴情報を得られる(Kosslyn, 1995, Shepard & Coper, 1982)
- エキスパートはそれぞれの部品を、1 枚ずつに描く(各可能な面から、特徴を)。

5. Conclusion

✚ 概念的デザイン・プロセスでは、エキスパートはより活発な認知的行為を行う。同じ時間制限内、エキスパートはより多い作品を産出したから、エキスパートは確かにより生産的である。

✚ エキスパートはより抽象的、ノービスはより具象的なものに着目する。

✚ 認知的行為に焦点から離れた行為(Defocused attention)は、より距離遠い特徴との関連を結び付けるし、されに創造的なプロセスやアウトプットを得られるかもしれない。

✚ よりよく構造化されたスケッチ(表象豊富性がある)のため、さらにより多い知覚的、認知的推論情報を提供でき、よって知覚プロセスと情報処理効率も促進できる

✚ Pattern goodness(良さ、適合度)と revising features(古い/記憶された情報から修正動作を行う)が知覚プロセスに影響を与え、よって情報処理時間/効率にも影響される。