液晶式立体視システムを用いた中・低得点者への切断面実形視テスト —— 解答時間の分析

A Mental Cutting Test Using Stereographic System Conducted to the Middle Scoring Group of the Test —— Analysis of Response Time

堤 江美子 Emiko TSUTSUMI

山内 恭子 Kyoko YAMANOUCI

鈴木 賢次郎 Kenjiro SUZUKI

概要

MCTにおける解答時間を立体視の影響という側面から分析するために、従来、MCTに対して中・低得点群とされている女子を対象に立体視MCTと透視図MCTを行った結果、以下のことが明らかになった。(1)立体視することでMCTの全解答時間は約30%短縮された。(2)両テストともに解答時間が短い問題ほど正解率が高い傾向にあった。(3)立体視では、両眼視差によって奥行情報が得やすくなり、MCTにおける情報処理過程のうち、『図から立体および切断面を認識する』過程が容易になった結果、この過程に要する時間が短縮されると共に、同過程において生ずる誤答が減少した。(4)『立体の切断面による切り口を求め、(切断面を回転するなどして)実形を認識する。(必要とあれば)量判断を行う。』過程に主たる誤答原因がある問題では、(3)に関わる過程では処理に要する解答時間が減少するものの、誤答の原因が他の過程にあるため正解率が上昇しなかった。

キーワード：図学教育／空間認識力／MCT／立体視／
解答時間

Abstract

The response time of the MCT was analyzed using the stereographic mental cutting test (SMCT) and the standard MCT. The principal results were as follows: (1) Total response time was shortened by about 30% as a consequence of using stereograms. (2) The correlation coefficient between response time and correct response rate indicate intermediate correlations in both tests. The results appear to suggest that the shorter the response time of a problem, the higher is its correct response rate. (3) By using stereograms depth cues were more easily recognized by subjects. Thus the process in recognizing 3-D shapes and location of cutting planes (Phase 1) was assisted and subjects improved their correct response rates and were shortened the response time required in the phase. (4) The problems in which errors occurred in the phase of Cutting the solid by the assumed cutting plane (Phase 2) or in the phase of judging the characteristic quantity (dimension) of the section (Phase 3), if necessary, did not show any improvements in their correct response rates even when using stereograms, although their response times required in the process of Phase 1 were shortened.

Keywords: Graphics education / Spatial ability / MCT / Stereograms / Response time

1. はじめに

図学教育の分野では、知識および技術に関する習得内容の議論にともなって、3次元図形処理能力の育成問題が注目されるようになり、この10年間、2次元で示された図から3次元立体を認識する際に、図学で教育される知識や技術がどのように関与しているのか、さまざまなテストを通じて調べられている。このようなテストの一つとして切断面実形視テスト(Mental Cutting Test: 以下MCTと略す)がある。MCTは、もともと米国で大学入学資格試験に用いられていたテスト^[1]の一部を、鈴木ら^[2]が、学生の空間認識能力を評価する尺度の一つとして位置づけたものである。現在ではさまざまな被験者を対象としたデータが蓄積されつつあり、MCTが空間認識力のどのような側面を評価しているのかについても明確にしようとする研究が進みつつある。

MCTは、立体とこれを切断する切断面を透視図で与え、切断された立体の切り口の実形を5つの選択肢から選んで解答させるもので、25題の問題からなっている。問題には解答選択肢の特徴によってパターン判別問題と量判別問題がある(鈴木ら^[2])。MCTの解答過程では、立体の認識、切断面と立体の相対的位置の認識、切り口の形状認識、切り口の実形認識、(問題の種類によって)切り口の量に関する判断、という処理が行われているとされている。また、MCTは、主として、「2次元の図から3次元立体のイメージを生成する能力」を反映しているものと言われている(Saito, *et al.*^[3])。

投影図には、画面の素地に描かれた線の集まりとしての一図形であるとともに、そこにはない3次元立体を示しているという二重性がある。また、投影図で2次元に提示された図形は、投影線上に存在する無限に多くの可能な立体を表わしている。日常生活において、このような投影図が何を表わしているのか把握するという問題に関して、グレゴリー^[4]は、「我々はもっともありうべき事物を選択するという過程を通じてかなり信頼できる判断(物体仮説)を下している」としている。しかし、

MCTの問題の多くは非日常的な形状であり、立体形状の認識は容易ではないと考えられる。

このような2次元の図に表わされた立体形状の曖昧性は、図においては奥行き情報が欠落しがちであることに起因している。この曖昧さを軽減する情報には、たとえば立体視差とか運動視差などがある。従って、MCTの測っている能力が「2次元の図から3次元立体のイメージを生成する能力」に関係しているなら、MCTの問題図を立体視させれば、問題に示された3次元形状の認識に関する曖昧性が軽減されて認識し易くなり、これらの認識能力に起因する誤答は減少するものと考えられる。西原ら^[5]は、MCTの問題図をアナグリフ方式による立体視図に置き換えて、3次元形態を把握しやすい問題提示方法の要件を調べた。また、姚ら^[6]は、上述の作業仮説のもとに、液晶シャッター式立体視システムにより問題図を立体視させるMCTを考案・実施した（以後、立体視MCTとよぶ）。その結果、パターン判別問題の一部では従来のMCT（以後、透視図MCTとよぶ）に比べてMCTの正解率は上昇し、量判別問題では正解率は大きく変化しないという傾向を報告している。しかし、姚らの調査における被験者群は透視図MCTにおいて高得点を得ており、問題毎の正解率が100%に近い場合が多く生じたため、立体視の影響が明瞭には表れなかった点もある。

Tsutsumi, *et al.*^[7]は、従来、MCT得点が男子に比較して低い（堤（浪）^[8]、鹿島^[9]）とされている女子を対象に、立体視MCTが解答に及ぼす影響という側面からMCTの解答過程を明確にすることを試みた。調査結果によれば、平均得点では立体視MCTと従来の透視図MCTとの間に有意差は見られなかった。しかし、個々の問題の正解率については、正解率が中程度（20～70%）のパターン判別問題において、立体視によって正解率が有意に増加した問題がみられ、問題図認識の際に問題毎のいくつかの特徴が立体視によって改善されていることがわかった。また、誤答選択肢の分析結果と考え合わせると、立体視MCTの成績は、透視図MCTの場合と同様に3次元立体のイメージ生成・加工、および分析的考察能力に関係していると推察され、立体視したことで、主に3次元立体のイメージ生成能力が補完されたと考えられる結果が得られた。ただし、複雑なイメージ加工処理過程では立体視は効果を持たなかった。また、特に低得点の者では、立体視しても立体のイメージ生成が不完全で、立体や切断面を正しく認識できず、提示された図を漠然と認識する傾向があることが示された。

本研究では、中・低得点者を対象に、立体視MCTと透視図MCTにおける解答時間の分析を行い、特に、立体視が解答時間に及ぼす影響という側面からMCTの解答過程について考察する。

2. 調査方法

2-1. 立体視MCT

姚ら^[6]が開発した液晶シャッター式立体視システムによるMCTを用いた。同MCTは、問題の立体と切断面を両眼立体視に置き換えた調査法で、対象を左右の視点から見た2つの画像をパソコン・ディスプレイ上に毎秒30サイクルで交互に表示する。これと同期して左右交互に開閉する液晶シャッター式の眼鏡を通して画像を見ることで立体画像が得られる。解答はキー操作で行わせ、パソコンの計時機能を利用することにより解答時間を計測することができる。問題の立体は透視図MCTと似かよった投影条件が得られるように作成してある。

2-2. 透視図MCT

菅井ら^[10]により開発され、斉藤によってWindows用に改良されたパソコン用MCT問題提示ソフトウェアを用いた透視図MCTを実施し、立体視MCTに対するコントロールデータとした。問題の表示サイズは立体視MCTと同一である。このシステムでも解答時間を得ることができる。

2-3. 被験者

立体視MCTは大妻女子大学社会情報学部1、2年の女子学生70名を、透視図MCTは同学部2年の女子学生51名をそれぞれ被験者として、1997年10月から11月にかけて調査を行った。

3. 結果と考察

3-1. 正解率

平均得点ならびに問題毎の正解率については既に報告したが（Tsutsumi, *et al.*^[7]）、今回の調査の全体的な傾向を明確にするために簡単に述べておく。

3-1-1. 平均得点

立体視MCTと透視図MCTの平均得点は25点満点中それぞれ13.97（SD = 4.22, N = 70）、13.68（SD = 4.23, N = 51）で、両者の間に有意差はみられなかったが、立体視MCTのほうやや高得点に偏った分布を示した（図1）。この傾向は先に行われた姚ら^[6]の結果（立体視MCTの平均得点：21.87, SD = 2.77, N = 61, 透視図MCTの平均得点：21.35, SD = 2.77, N = 333）とも一致している。なお、両調査の平均得点間に、約8

点の差がみられたことから、姚らの被験者を高得点者群、今回の被験者を中・低得点者群と位置づけて以後の考察をすすめた。

3-1-2. 問題毎の正解率

図2に問題毎の正解率を示す。透視図MCTにおいて正解率が中程度(20~70%)の問題で正解率が増加した問題が目立つ。有意差がみられた問題のうち、問題5, 14, 7, 12では正解率が増加し、問題は18, 19, 23では正解率が減少した($P<0.05$)。なお、量判別問題では正解率に立体視による有意な差はみられなかった。これらの傾向も先の姚らによる高得点者群の結果とはほぼ一致している。

当初、MCTは問題図を立体視させれば、問題に示された3次元形状が認識し易くなり、これらの認識能力に起因する誤答は減少するのではないかと仮定した。上述の結果が示すように、多くの問題において正解率の改善がみられたが、正解率が減少した問題もあったので、平均得点の上昇にはつながらなかったものと考えられる。

なお、斉藤ら^[11]は、実写映像を用いた立体視MCTを開発・実施し、透視図MCTに比べて平均点の上昇が見られたと報告している。また、そこでの考察において、立体視MCTによる正解率の減少は、線画立体視による過剰な奥行き感によるものと考察している。

3-2. 全解答時間

3-2-1. 立体視MCTと透視図MCT

各MCTの解答制限時間は20分(1200秒)である。図3に立体視MCTと透視図MCTの全解答時間の出現率を示す。立体視MCTと透視図MCTの全解答時間の平均値はそれぞれ596.47秒($SD=225.48$, $N=70$), 837.14秒($SD=192.53$, $N=51$)で、両者の間には1%水準で統計的有意差が認められた。先に述べたように本調査の被験者は、中・低得点層であり、このような被験者群については立体視することでMCTの全解答時間は約30%も短縮されたことが分かる。

3-2-2. 全解答時間と正解率

図4に、被験者毎の全解答時間と得点の関係、および平均値を示す。立体視MCTと透視図MCTにおける両者の相関係数はそれぞれ0.195と0.113で、両テストともに、全解答時間と得点の間に相関はない。これは菅井ら^[10]の透視図MCTによる結果と一致する。また、平均値を比較すると、立体視によって解答時間は短縮するものの、得点は改善されないことがこの図からも分かる。

図1 得点分布

図2 問題毎の正解率

図3 全解答時間の出現率

図4 全解答時間と得点

図5 問題毎の平均解答時間—高得点者群^[12]と中・低得点者群の比較—

3-3. 問題毎の平均解答時間

3-3-1 立体視 MCT と透視図 MCT

図5に折れ線グラフで今回行った立体視 MCT と透視図 MCT の問題毎の平均解答時間を示す。○が立体視 MCT, ●が透視図 MCT である。この図では透視図 MCT の平均解答時間が長かった順に問題を並べてある。この図をみると問題3以外の全ての問題において、立体視することによって平均解答時間が短縮される傾向にあることが分かる。両者の相関係数は0.846とかなり高く、立体視 MCT と透視図 MCT の平均解答時間の間には正の相関関係が存在していることが分かる。

問題毎に立体視 MCT と透視図 MCT の平均解答時間の有意差検定を行った結果、1%水準で有意差が認められたのは問題9, 22, 12, 14, 13, 18, 16, 24, 23, 5, 11, 21, 2, 5%水準では問題15, 10, 1で、全25題の64%に相当する問題で平均解答時間に有意差が認められた。なお、これらのうちにはパターン判別問題も量判別問題も共に含まれている。

3-3-2. 高得点者群との比較

図5において、棒線グラフは姚による高得点者群についての平均解答時間^[12]を比較のためにプロットしたものである。全体的には両被験者群における問題毎の平均解答時間の傾向はよく似ている。そこで、問題毎の平均解答時間について、各実験群間で有意差検定を行った(表1)。その結果、透視図 MCT の中・低得点者群のみが他の群と有意差を示したことから、立体視による平均解答時間の顕著な短縮傾向は、中・低得点者固有のものと考えられる。以下では平均解答時間に関して問題毎に正解率との関係を詳細に分析する。

3-4. 問題毎の平均解答時間と正解率

図6は問題毎の平均解答時間と正解率との関係を示したものである。平均解答時間と正解率の相関係数は立体視 MCT で-0.483, 透視図 MCT で-0.583と中程度の相関が見られ、どちらのテストでも、平均解答時間が短

表1 被験者間の平均解答時間に関する検定結果

		高得点者群	
		立体視	透視図
中低得点者群	立体視	N	N
	透視図	(t=3.845) **	(t=2.609) **

N: 統計的有意差なし ** : 有意差(1%水準)

い問題ほど正解率が高い傾向にあることが分かる。

立体視の効果についてみると、たとえば問題14では、透視図 MCT では解答に時間がかかった(36.6秒)上に正解率も低かった(19.6%)が、立体視することで平均解答時間が約14秒も減少し、正解率でも約30ポイントの上昇がみられた。同様の傾向は問題12, 22, 10, 5などにも見られ、このような問題群においては、立体視が解答時間を短縮するとともに、正解率の向上にも寄与している。

一方、問題24においては、立体視によって、平均解答時間はある程度減少している(24.0秒→17.1秒)が、正解率に大きな変化は認められない(43.1%→41.4%)。同様の傾向は問題2, 13, 21, 11などにも見られる。また、問題23では、平均解答時間は減少したのにもかかわらず、正解率が約21ポイントも下降している。

そこで、以下では立体視したことによって正解率が上昇した問題群(上昇群)と上昇しなかった問題群(非上昇群; 下降した問題を含む)とに分けて分析を進める。

(1) 正解率上昇群

図7は、立体視することによって平均解答時間が減少すると共に、正解率が上昇した問題群(問題番号: 14, 12, 22, 16, 10, 9, 15, 7, 5, 8, 4)について、正解率の変化を平均解答時間の変化と共に示したものである。矢印の根元が透視図 MCT, 先端が立体視 MCT を表す。図8の立体視による短縮時間のグラフから、透視

図6 問題毎の平均解答時間と正解率

図7 正解率上昇群

図9 正解率非上昇群

図8 立体視による正解率上昇群の短縮時間

図10 立体視による正解率非上昇群の短縮時間

図 MCT で長時間を要した問題ほど立体視することで平均解答時間が著しく短縮したことが分かる。

Saito, *et al.*^[3]は、注視点追跡法などによって MCT の解答過程を調査し、誤答が次に挙げる 3 つの情報処理過程のいずれで生じているかを調べた。

- ① 図から立体、および、切断面を認識する。この時、見えない部分は推測する。
- ② 立体の切断面による切り口を求め、(切断面を回転するなどして) 実形を認識する。
- ③ (必要とあれば) 量判断を行う。

その結果、図 7 に示す問題 9、12、14 における誤答の約半数が上述の過程①、特に、切断面の立体に対する相対位置の認識の際に生じていると報告している。

この結果を考慮すると、立体視においては、両眼視差によって奥行情報が得やすくなり、上述の過程①が容易になることが考えられる。その結果、過程①に要する時間が短縮されると共に、過程①において生ずる誤答が減少するものと思われる。図 7 に示した他の問題でも同様の要因が効いていると考えられる。つまり、これらの問題では立体認識にいたる時間、正しい認識の双方向に対して立体視による効果が生じていると考えられる。

(2) 正解率非上昇群

図 9 は、立体視によって平均解答時間は減少するが、正解率は上昇しない問題群 (問題番号：3、1、2、6、11、18、20、19、21、24、17、23、13、25；ただし問題 3 のみ解答時間にほとんど変化がない) について、正解

率の変化を平均解答時間の変化と共に示したものである。図 10 に示したように、これらの問題では、平均解答時間の減少はほぼ一定で、平均 8 秒であった。

前述した Saito, *et al.*^[3]の報告によれば、図 9 に示す問題 19 での誤答は、主として過程②において生じている。また、問題 13、23 の誤答の多くは過程③において生じている。先にも述べたように、立体視は主として過程①に効果があるものと考えられる。従って、過程②③に主たる誤答原因があるこれらの問題においては、立体視によって正解率が大きく変化しないのはうなずける結果である。

しかし、図 9、10 に示したように、これらの問題群においても、立体視によって平均解答時間は相当程度減少している。つまり、被験者は、立体視によって問題の立体図形の形状や切断面の位置などの認識が容易になり、この過程の処理に要する解答時間は減少するものの、誤答の原因が他の過程 (②③) にあるため正解率は上昇しなかったと考えられる。

Tsutsumi, *et al.*^[7]では、立体視したことで、主に 3 次元立体のイメージ生成能力が補完されたと考えられること、複雑なイメージ加工処理過程では立体視は効果を持たなかったことを示した。この結果と本節での考察をあわせて考えると、まず、MCT では問題図を立体視すると奥行情報が得やすくなるため立体図形の形状や切断面の相対位置の認識が容易になり、解答時間は減少する。また、誤答が、これらに起因する場合には立体視によっ

て誤答は減少するが、誤答原因が、切り口形状の回転などの操作を伴うイメージ生成や実形認識、量判断など、他にある場合には誤答は減少しないものと考えられる。

4. まとめ

立体視 MCT と透視図 MCT の結果を比較することにより、立体視の影響という側面から MCT の解答過程を分析することを目的に、従来 MCT 得点が男子に比較して低いとされている女子を対象に調査を行った。本報では特に解答時間に関して分析を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 立体視することで MCT の全解答時間は約30%も短縮された。
- 2) 立体視することによってほぼ全ての問題の解答時間が短縮される傾向にあった。立体視 MCT と透視図 MCT の平均解答時間の相関係数は0.846でかなり高く、また、全体の64%に相当する問題で立体視することによって平均解答時間が有意に短縮されることが分かった。
- 3) 問題毎の平均解答時間と正解率の相関係数は、立体視 MCT で-0.483、透視図 MCT で-0.583で、中程度の相関が見られ、両テストともに、解答時間が短い問題ほど正解率が高い傾向にあった。
- 4) 立体視においては、両眼視差によって奥行情報が得やすくなり、MCT における情報処理過程のうち、『図から立体、および、切断面を認識する』過程が容易になると考えられた。その結果、この過程に要する時間が短縮されると共に、同過程において生ずる誤答が減少したのと考えられる。
- 5) MCT における情報処理過程のうち、『立体の切断面による切り口を求め、(切断面を回転するなどして)実形を認識する。(必要とあれば)量判断を行う。』過程に主たる誤答原因がある問題では、4)で述べたと同様に、立体視によって問題の立体図形の形状や切断面の位置などの認識は容易になり、この過程の処理に要する解答時間は減少するものの、誤答の原因が他の過程にあるため正解率が上昇しなかったと考えられる。

謝辞

本研究において、立体視 MCT および透視図 MCT の実験システム使用においては、青山学院大学第2部非常勤講師齊藤孝明氏に大変お世話になりました。心からお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] CEEB Special Aptitude Test in Spatial Relations, Developed by College Entrance Examination Board, U.S.A. (1939).
- [2] 鈴木賢次郎, 脇田早紀子, 永野三郎: 図学教育における直感的2-3次元図形処理能力の育成効果. 図学研究, 49号, pp. 21-28 (1990).
- [3] T.Saito, Ku.Shiina, K.Suzuki and T.Jingu: Spatial Ability Evaluated by a Mental Cutting Test. Proc. 7th ICECGDG, Cracow, Poland, pp.569-573 (1996).
- [4] グレゴリー, R.L., 金子隆芳訳: インテリジェント・アイ. みすず書房 (1972).
- [5] 西原一嘉, 西原小百合, 知花好吉, 吉田勝行: 空間認識能力に対する立体視の効果—仮想切断面実形視テストを用いて. 日本図学会1993年度大会学術講演論文集, pp. 127-132 (1993).
- [6] 姚幼武, 齊藤孝明, 鈴木賢次郎: 立体視 MCT との比較による MCT の誤答原因の考察. 日本図学会1996年度大会学術講演論文集, pp. 122-127 (1996).
- [7] E. Tsutsumi, Ka.Shiina, A.Suzaki, K.Yamanouchi, T.Saito and K.Suzuki: A Mental Cutting Test on Female Students Using a StereoGraphic System. Journal for Geometry and Graphics, 3-1, pp.111-119 (1999).
- [8] 堤浪夫: 仮想切断面実形の判断能力について. 日本図学会1990年度大会学術講演論文集, XII (1990).
- [9] 鹿島享: 仮想切断面テストと図学教育. 日本図学会1990年度大会学術講演論文集, XIV (1990).
- [10] 菅井祐之, 鈴木賢次郎: 切断面実形視テストの多変量解析. 図学研究, 85号, pp. 27-32 (1999).
- [11] 齊藤孝明, 鈴木賢次郎: 実写映像立体視 MCT との比較による MCT 誤答原因の考察. 図学研究, 86号, pp. 3-10 (1999).
- [12] 姚幼武: 液晶式シャッターを用いた切断面実形視テスト. 東京大学総合文化研究科広域科学専攻広域システム科学系修士論文 (1996).

●2000年10月19日受付

つつみ えみこ

大妻女子大学社会情報学部

お茶の水女子大学大学院家政学専攻, 工学博士, 図学・人体形態学

やまのうち きょうこ

大妻女子大学社会情報学部社会情報処理専攻

現在, 滝野川信用金庫勤務

すずき けんじろう

東京大学大学院総合文化研究科・教養学部

1945年生まれ, 東京大学大学院工学系研究科・工学博士, 認知図学