

学位論文要約

空間認識能力の育成をめざす
中学校理科天文分野の学習指導に関する研究

申請者

広島国際学院大学

岡田大爾

I. 論文の構成

序 章 研究の背景

第1章 研究の目的

第1節 空間認識能力の概念規定

第2節 空間認識能力と中学校理科天文分野の理解に関する理論的検討

第3節 本研究の目的とその方略

第2章 空間認識能力の評価方法の検討

第1節 空間認識能力に関する先行研究と問題の所在

第2節 教科内容(天文分野)固有の空間認識能力を調べる簡易評価法の考案

第3節 汎用性が高い空間認識能力の評価法

第4節 まとめ

第3章 天文分野の教育課程の相違に基づく空間認識能力の比較分析

第1節 天文分野の教育課程の変遷

第2節 昭和52年改訂学習指導要領と平成10年学習指導要領のもとで習得した空間認識能力の比較

第3節 まとめ

第4章 空間認識能力を育成する教材・教具及び学習指導法の検討

第1節 空間認識能力を育成する教材・教具に関する先行研究と問題の所在

第2節 空間認識能力を育成する教材・教具及び学習指導法の開発

第3節 開発した教材・教具及び学習指導法の効果の検証

第4節 開発した教材・教具及び学習指導法に対する現職教員の評価

第5節 空間認識能力を育成する集団構成法の開発と効果の検証

第6節 まとめ

終 章 本研究の総括と今後の展望

第1節 本研究の成果

第2節 今後の課題

引用・参考文献

謝 辞

付属資料

II. 論文要旨

序章 研究の背景

『空間認識能力』は、空間に関する様々な命題やイメージ等を用いながら、空間の構造や実体、関係等を認識、操作する能力として STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics)や Art で重要視されている(例えば, Humphreys *et al.*, 1993, Shea *et al.*, 2001, Casey *et al.*, 2001, Nuttal *et al.*, 2005, Wai *et al.*, 2005). 国内においても、空間認識能力を育成するためのさまざまな教科教育の研究が行われている。しかし、各教科固有の文脈に依存しており、共通・汎用の空間認識能力を扱った研究は少ない。

理科の地学領域で扱う対象は、他の領域と異なり、時間・空間ともに学習対象に対する条件の制御や再現性を直接確認する実験を行うことは困難であり(林, 2002), 特に、天文分野では、児童・生徒の実態として視点移動や方位認識の困難さといった課題があることが報告されるなど、理解が困難な分野の1つとされており、その克服に向けて従来から心理学的な手法も取り入れた研究が実施されてきた(例えば, 松森, 1983; 土田・小林, 1986; 益田, 2007)。しかし、各研究者で調査法は異なっており、また、これらの研究は、Piaget らによる研究の知見に基づいており、その後の心理学のさまざまな知見を取り入れたものではない。

このように空間認識能力に関する研究は、各教科固有の観点に基づく調査が中心であり、教科を越えた能力の解明は不十分である。理科教育においても各研究者間で空間認識能力の実態調査や指導法の評価が独自の指標で行われ、理科の授業実践・改善において統合的に取り扱うための研究の蓄積は十分ではなく、継続して空間認識能力を高めるカリキュラムや指導方法の工夫・改善は、不十分な現況である。

第1章 研究の目的

第1節 空間認識能力の概念規定

各研究者で空間認識能力の捉えが異なることから、まず、発達心理学、実験心理学、心理測定学の先行研究の知見からのアプローチを参考として本研究における概念規定を行う。

発達心理学の知見からのアプローチとして、高度な学習内容1つ1つを理解するのに必要とされる論理操作内容の分析結果と生徒の発達段階との適合度を分析する CSMS (Concept in Secondary Mathematics and Science) のカリキュラム評価が参考となる。生徒の発達段階を把握する Shayer *et al.* (1981) の空間認識の科学的推論課題 (SRT s) は、空間汎用性の高い課題であるが、抽象的なために、学習の論理操作内容との適合度の判定が困難であり、学習内容により近い形で論理操作内容を測ることが必要と考えられる。

また、実験心理学の知見からのアプローチにより、向かい合った場合は左右が逆になる等の概念だけでなく、心的イメージを作って空間を操作して問題を解決できることが立証されている(例えば, Shepard *et al.*, 1971; Cooper *et al.*, 1973)。また、眼球運動や身体運動による脳内の空間情報の貯蔵に影響を与えること(例えば, 藤木・菱谷, 2010; 2011)等が明らかになっている。

さらに、心理測定学の知見からのアプローチにより、本研究において、空間認識能力と天文分野の学習との対比を考える際には、McGrew(2005)の11個の狭義因子(視覚化、空間関係、閉包速度、閉包柔軟性、視覚的記憶、空間走査、逐次的知覚統合、長さの推定、錯覚への抵抗、視覚交替、想像力)は詳細すぎる事が判明した。そこで、本研究では、Zimmerman(1953),Carroll(1993), Schneider & McGrew(2012)らの時間の要因(Speed or Power)及び複雑さの要因(Simple or Complex)でSpeeded RotationとVisualization等に2分する方法に、小・中学校の天文分野等で重要視されてる(松森・関, 1981; 松森, 1982; 荒井, 2005; 宇尾野・古屋, 2011; 藤川・林, 2015)方位認識(空間定位)を加えて、空間認識能力をLohman *et al.* (1983), Juhel(1991)らを参考に、空間関係、空間定位、空間視覚化の3つの因子からなるとする概念規定を行った。

第2節 空間認識能力と中学校理科天文分野の理解に関する理論的検討

空間認識能力の育成と天文分野の学習内容の理解との相乗効果を高めるため、空間関係、空間定位、空間視覚化の3つの能力因子が天文分野の具体的な学習場面でいかに活用され、学習の中で空間認識能力が向上するかについて理論的検討を行った。まず、授業中のワークシートやホワイトボードに向き合って素早く地球等の天体を回転させて、日本などの観測地点がどの位置・向き・形であるかを考える際等に、空間関係能力が比較的頻繁に活用される。また、地球上のある観測地点に立った時のその地点から見た各方位や観測する天体の方向を考える際等に、空間定位能力が必要と考えられる。さらに、宇宙からの視点で見た様子から地上からの景観を想像したり、逆に地上からの視点で見た様子から宇宙での天体の動きを想像したりする際等には、空間視覚化能力が必要と考えられる。このように、空間認識能力の各因子は、天文学習を行う上で必要であるとともに、天文学習を通して各要素の能力を高めることが可能と考えられる。

第3節 本研究の目的とその方略

前節までの研究により、空間認識能力の3つの因子が天文分野の学習で必要であり、かつ、天文分野の学習を通して効果的に空間認識能力を育成することが可能と考え、本研究の目的を「中学校理科天文分野における子どもの空間認識能力の実態を把握し、その能力を伸ばさせる教材・教具の開発とそれらを用いた指導法を開発して、その教育効果や課題を明らかにする。」と設定し、この目的を達成するために各章における方略を概説した。

第2章 空間認識能力の評価方法の検討

第1節 空間認識能力に関する先行研究と問題の所在

空間認識能力を測るためPiagetが行った課題は汎用性の高いものであるが、各教材の難易度を考えるには、そのままでは抽象度が高いため生徒の認知発達段階と各教科内容を理解するために必要とされている論理操作内容との適合程度の判定が困難であった。そこで、土田・小林(1986)は、小・中学校の天文分野固有の空間認識能力を調べる質問紙調査を行った。しかし、調査問題は選択方式で、各分野1問ずつとなっていたため、選択の偶然性の排

除が困難であった。また、各個人の全質問の総得点を集計し、これの各学年平均点をもとに学年間の平均点の有意差を考察したため、各問題の正答率やその学年変化等が不明で、そのため、どのような力がどの時期にどのくらい伸びたのかについては不明であった。

第2節 教科内容(天文分野)固有の空間認識能力を調べる簡易評価法の考案

第1節の課題から小学校や中学校で月や惑星の満ち欠け等を学習する際等に必要な天文分野固有の空間認識能力を調べる質問紙を次の点に留意しながら新たに開発した。

- ① 回答選択の偶然性を排除する。
- ② 学校現場への普及を考え、多くの学習者に手軽に一斉実施可能で、分析しやすい。
- ③ 天文学習に必要な各種概念の定着状況について誤答を含めて詳細な個別分析ができる。

質問への回答に基づき、天文分野の学習に関する児童・生徒と大学生の半球概念、球形概念、左右概念、能動的視点移動能力、受動的視点移動能力等の状況を明らかにした。さらに、その中で線対称の位置の設問の回答パターンがほぼ一致したことからこれら質問紙調査の信頼性ととも教師への面接調査や学習者の回答から活用のしやすさや有効性を確認した。

第3節 汎用性が高い空間認識能力の評価法

天文分野のみならず汎用の空間認識能力を測るため、世界的に信頼性が高く、比較的応用範囲が広く、幅広い年齢層で簡易に評価可能な心的回転課題を選定した。

心的回転課題は、文字や動物・手・図形等の多種多様な心的回転テストが開発されているが、本研究では、世界各地での普及状況や公平性の観点から立方体10個の3次元モデルの中で紙と鉛筆で容易に行える Vandenberg & Kuse(1978)の方法を活用することとした。

第3章 天文分野の教育課程の違いに基づく空間認識能力の比較分析

学習者が小・中学校でどのような学習内容によって天文分野固有の空間認識能力のどの部分がどの程度形成されたかを明らかにするため、天文分野の学習時期や内容が大きく異なる2つの学習指導要領のもとで小・中学生の空間認識能力の縦断調査を行った。

第1節 天文分野の教育課程の変遷

平成10年の学習指導要領改訂では、それまで中学1年生で学習していた天文分野が中学3年生に移行した。同時に、小学校では、天文分野の学習は3・4年生に集約され、5・6年生での学習の機会がなくなる等最も大きい変更となった。「天動説支持者が4割」等の天文事象に対する小学生の低い認識が報告され、当時広く話題となったが、単に天文分野の天動説・地動説といった知識についての議論だけでなく、児童・生徒の空間認識能力の形成過程に与えた影響を詳細に調べることがカリキュラムの効果検証や改善策作成のために必要であると考えられる。

第2節 昭和52年改訂学習指導要領と平成10年学習指導要領のもとで習得した空間認識能力の比較

小学校4年生から中学校3年生までの各学年約170名前後の児童・生徒を対象に天文分野固有の空間認識能力の縦断的調査を1985年(昭和52年改訂の学習指導要領下で約6年経

過後、小学校4年・5年・6年・中学校1年で天文単元を実施)と2007年(平成10年改訂の学習指導要領下で約6年経過後、小学校4年と中学校3年で天文単元を実施)に行い、小・中学生の天文分野固有の空間認識能力の実態を明らかにした。

本方法では、ボールの満ち欠けを問う調査を行い、月の満ち欠けの原理が理解されているかを調べ、加えて半球概念、球形概念、左右概念、能動的視点移動能力、受動的視点移動能力の発達状況や特徴、性差等を分析した。その結果、①ボールに真横から光を当てると半月状に見えること(半球概念)の理解は中学校3年生でも6~7割であること、②視点を180度回転すると影が左右逆になること(左右概念)は、中学校で宇宙から月を俯瞰する学習時に正答率が大きく伸びるが、比較的定着しにくいこと、③半球が明るいボールを斜めから見ると明暗の境界がカーブすること(球形概念)は、小学校での月の満ち欠けの学習時に正答率が大きく伸び、定着すること、④女子の方が学習直後に正答率が上がっても1年後急落することが多いこと、⑤天文分野を学習していない時期でも他の要因によって正答率が伸びていること、⑥中学校1年よりも3年で天文単元を実施した方が定着が良いこと、⑦小学校5・6年でも天文学習を行った方がこれらの概念が高まること、⑧個人差が非常に大きいこと、⑨能動的視点移動の方が受動的視点移動より学習者が理解しやすいこと等を明らかにした。

第4章 空間認識能力を育成する教材・教具及び学習指導法の検討

第1節 空間認識能力を育成する教材・教具に関する先行研究と問題の所在

理科教育の中でも天文分野の学習は、高度な空間的思考力が必要なため理解しにくいとされているが、空間的な思考を助ける教材・教具を活用することで、高度な空間認識能力を育成できる可能性を持っていると考えられる。そのため、学習者の空間的思考を助けるために次のような教材・教具が提案されている。

中高下ほか(2002)や岡田・竹野(2002)、中野(2008)は、それぞれ宇宙から地球と他の惑星の移動を観察するとともに地球からみた他の惑星の満ち欠けを同時に観察可能なモデルを開発した。これらモデルはサイズが大きいため、生徒にとって受け身的になりやすい。また、宇宙・地上の両視点からの現象の理解が重視される一方で、空間認識能力の評価は、十分行われていない。

一方、鎌田・鷹西(2007)は、1人1台ずつクラフト教具を作成し、金星の満ち欠けを掌上で操作し、観察するモデルを開発した。しかし、サイズが小さ過ぎて、他の学習者や教員から見えにくいいため、議論や支援を受けて思考の活性化を図りにくく、個人的な探究に終わりやすい。

Shen & Confrey(2007)は、地上から観察する時の月・観測者・太陽のなす角度(角距離)を意識させるためのフラフープモデルを開発した。これは、さまざまな角距離の月と太陽の位置関係をつくって、机等を地平線と見立てて太陽が沈んだ時に、月がどの方向に見えるかをシミュレーションするためには優れているが、見かけ上、月と太陽が同じ軌道で公転して

いるように見えるため地動説の見方には発展させにくい。

間處・林 (2013)は、立体モデルの観察→作図学習→宇宙旅行を疑似体験するシミュレーションソフト学習による金星の満ち欠け学習を提案した。数学的な作図をもとに金星の大きさや形を見いだすことを通して観察の視点移動能力を高めた。しかし、宇宙旅行を疑似体験する PC ソフトを使って金星の満ち欠けを観察する際、操作の習熟が必要と述べている。

以上のように、先行研究の多くは立体モデルを使って観察し、その内容を記録して理解するという活動が中心となっているため、解決過程で試行錯誤するような学習を通して空間的思考が深まるといった状況には至っていない。また、このような先行研究では、天文領域において空間概念や空間認識能力を育成するという記述もあるが、内容理解状況の検討が中心で、空間認識能力そのものを評価している研究は見られないようである。

第2節 空間認識能力を育成する教材・教具及び学習指導法の開発

Wexler *et al.* (1998)は、心的回転の課題中にジョイスティックの回転方向と心的回転課題の回転方向が一致するとき心的回転が促進されることから手の運動と心的な運動との相互作用を示唆した。さらに、Harman *et al.* (1999)やSasaoka *et al.* (2010)は事物を心的イメージの形で表象するための認知的メカニズムは、事物を知覚するためのメカニズムと同じと考えられ、物体を手で操作して能動的に物体の景観の変化を観察することで後の空間認識が促進されるとした。天体分野の学習において指定された位置に立体モデルにおいて観察したことをノート等に記録する従来の方法では、仮説検証や試行錯誤の議論等を通じた思考の深まりが期待できないため、未知の天体X(金星)や天体Y(火星)の連続写真を提示してこれらの正体を探る探究学習を開発した。また、近年の認知心理学の研究から、学習者同士が同じ視点から同じ方向を見て確認したり、同じものを同時に別々の視点から見ながら議論したりすることによって思考活動の相互理解が促進されることや立体モデルを使って考えたことをワークシートに記す際に空間座標が変わるため、視空間思考が妨害を受けることが推察される。そこで、本学習においてホワイトボード(公転面)の上にスチロール球(天体)を磁石でくっつけて学習者が自由に動かしながら互いの考え方を表現できるようにした平面・立体一体型モデル(以下、一体型モデル)を考案した。この一体型モデルにより、学習者がモデルを動かしながら地平線や方位・満ち欠け等の図や文章をホワイトボードに書き込めるようにして自身や仲間の考えを可視化し共有できるようにした。また、各日時の天体の位置や見え方を記録することを通して、天体の時間的位置変化もたどれるようにした。その後、一体型モデルと立体モデル、平面モデルとの比較を軸とした学習者や教員への面接調査や質問紙調査を行い、空間的な思考を深めるには、一体型モデルがより有効との意見を得た。

第3節 開発した教材・教具及び学習指導法の効果の検証

国立大学附属 Y 中学校 3 年生で一体型モデル、平面型モデルを活用する授業を各 2 クラスずつ行い、事前・事後に心的回転課題等を行ってそれぞれの学習効果を検証した。その結果、一体型モデルを使用した 2 クラスの方が平面型モデルを使用した 2 クラスよりも惑星

の見え方の原理の解明，議論の深まり，心的回転等の抽象的なイメージ操作の空間認識能力においてより高い効果が見られた．特に，学習前に心的回転能力の低い学習者においては，一体型モデルの方が平面型モデルよりも心的回転能力が大きく向上した．

第4節 開発した教材・教具及び学習指導法に対する現職教員の評価

本研究で開発した教材・教具と指導法について日本地理学教育学会全国大会のワークショップに参加した27名の現職教員からの評価について考察した．参加者は一体型モデルを作成し，それを使用して未知の天体X(金星)やY(火星)の連続写真から正体をさぐる学習を体験した．事後アンケートから，一体型モデルの方が平面モデルや立体モデルのみよりも空間的な思考をともなった問題解決が図られるとの評価が得られた．

第5節 空間認識能力を育成する集団構成法の開発と効果の検証

12名の中学校理科教員に対する面接調査の中で，2名の教員からの空間認識能力が低い学習者同士では探究的な学習が難しいのではないかと指摘をもとに，学習前に簡易調査で天文分野と汎用(心的回転能力)の空間認識能力を把握し，その能力の高い学習者と低い学習者を組み合わせる集団構成法を開発し，効果検証を行った．その予備調査としてまず，大学生25名による一体型モデルを使った2人(一部3人)班学習の事前に空間認識能力を簡易に調査した．その結果から①高い学習者と低い学習者(実験群)，②高い学習者同士(対照群)，③低い学習者同士(対照群)の3種類の学習班を構成して平面・立体一体型モデルを使って探究学習を実施した．その際にBerkowitz & Gibbs(1983)による表象的トランザクションと操作的トランザクションの手法を用いて学習中の対話を分析した．その結果と事後調査から，①>③>②の班順に対話が深まり，天文分野固有の空間認識能力や汎用の空間認識能力の高まりも大きいことが明らかとなった．

そこで，本集団構成法を中学校で検証するため国立大学附属S中学3年生2クラスで学習前に汎用及び天文分野固有の空間認識能力を調査し，①空間認識能力の高い学習者と低い学習者ペア(実験群)，②高い学習者ペア(対照群)，③低い学習者ペア(対照群)，④中位の学習者ペア(対照群)の4学習班で一体型モデルを使って未知の惑星X(金星)の正体を探る学習を行った．事後調査の結果，①>③>④>②の班順に心的回転の得点の伸びが大きかった．特に，①班の対話が深く，この班の空間認識能力が低い学習者の心的回転得点の伸びが著しい．また，①班の同能力が高い学習者は②班の高い学習者より心的回転得点の伸びが大きい．したがって，空間認識能力の高い学習者と低い学習者をペアにすることは，対話を深める中で，空間認識能力を高める観点で双方に有意義と考えられる．

終章 本研究の総括と今後の展望

本研究の主要な成果は，以下の4点としてまとめることができる．

成果1: 従来，天文分野における空間認識能力の定義が不明確であったことから，空間関係能力，空間定位能力，空間視覚化能力の3つの因子で定義し，それぞれ天文学習のどの場面で必要とされ，さらに伸ばすことができることを明らかにした．

成果 2：天文学習固有の空間認識能力を簡易に調査できる方法を開発し、小学校 4 年生から中学校 3 年生まで調査し、児童・生徒の空間認識能力の実態とカリキュラムとの関係を明らかにした。

成果 3：実験心理学の物体を手で操作して能動的に物体の景観の変化を観察することで後の空間認識が促進される知見や眼球や身体の移動が空間記憶へ影響を及ぼす知見から平面・立体一体型モデルを開発し、これを用いた探究的学習を生徒や教師に実施し、評価を得た。操作的トランザクションが多く見られ、天文現象の原理解明や内容理解が進み、天文分野固有の空間認識能力のみならず、汎用(心的回転)の空間認識能力も高まった。

成果 4：空間認識能力の高い学習者と低い学習者をペアにする集団構成法を開発し、この組み合わせが他のペアに比べて、議論が深まり、高・低の学習者とも天文分野固有の空間認識能力のみならず、汎用の空間認識能力も高まることを明らかにした。

今後の課題として、以下の 2 点が挙げられる。

課題 1：心的回転以外にも世界的に多くの分野でも用いられ、実施しやすい汎用の空間認識能力の測定についても模索する必要がある。

課題 2：教師側は、天文分野の評価のため、学習前後に空間認識能力を簡易測定し、学習者側は、その結果から空間認識能力の成長が実感できる方略を検討する。

<本要旨における引用・参考文献>

荒井豊(2005)「方位認識の育成」『理科の教育』Vol.54 通巻 631 号, 60-63

Berkowitz, M.W. & Gibbs, J. C. (1983). Measuring the developmental features of moral discussion. *Merrill-Palmer Quarterly*, 29, 399-410

Carrol, J.B. (1993). *Human Cognitive Abilities : A Survey of factor analytic studies*. New York: Cambridge University Press.

Casey, M. B., Nuttal, R.L., & Pezaris, E. (2001). Spatial-mechanical reasoning skills versus mathematical self-confidence as mediators of gender differences on mathematics subtests using cross-national gender-based items. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32, 28-57.

Cooper, L.A. & Shepard, R.N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing*(pp.75-176). New York: Academic Press.

藤川義範・林武広(2015)「理科の入門期における児童の方位認識に関する一考察」『日本教科教育学会誌』第 37 巻, 第 4 号, 63-72.

藤木晶子・菱谷晋介(2010)「空間記憶に及ぼす眼球運動の選択的干渉及び促進効果：身体運動との比較に基づいて」『認知心理学研究』第 8 巻, 第 1 号, 23-31.

藤木晶子・菱谷晋介(2011)「空間記憶に及ぼす身体運動による選択的干渉及び促進効果：眼球運動との比較に基づいて」『認知心理学研究』第 9 巻, 第 1 号, 27-35.

林武広(2002)「地学の学習におけるマルチメディア活用の意義と有効性」『地学教育』第 55 巻 第 6 号 245-257

Harman, K. L., Humphrey, G. K. & Goodale, M. A. (1999). Active manual control of object views facilitates visual recognition. *Current Biology*, 9, 1315-1318.

Horn & Cattell(1966). Refinement and test of the theory of fluid and crystal intelligence. *Journal of educational Psychology*, 57, 253-270

Humphreys, L.G., Lubinski, D., & Yao, G. (1993). Utility of predicting group membership and the role of spatial visualization in becoming an engineer, physical scientist, or artist. *Journal*

- of *Applied Psychology*, 78, 250-261.
- Juhel, J. (1991). Spatial abilities and individual differences in visual processing. *Intelligence* 15, 117-137.
- 鎌田正裕・鷹西智子(2007)「地球上からの金星の見え方と金星・太陽・地球の位置関係を同時に表現できるペーパークラフト教材」『地学教育』第60巻第5号, 161-169.
- 桐生徹(2015)「天体分野における「月の満ち欠け」に対する授業方略と評価」『上越教育大学教職大学院研究紀要』2巻 19-27
- 国立教育政策研究所学習指導要領データベースインデックス <http://www.nier.go.jp/guideline/>
- 国立教育政策研究所(2005)「平成15年度教育課程実施状況調査 教科別分析と改善点 (中学校・理科)」 Retrieved from http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h15/H15/03001040030007004.pdf 7
- 子安増生(1990)「幼児の空間的自己中心性(I)-Piagetの3つの山問題とその追試研究」『京都大学教育学部紀要』36, 81-114.
- 子安増生(1991)「幼児の空間的自己中心性(II)-Piagetの3つの山問題の関連実験と理論的考察」『京都大学教育学部紀要』37, 124-154.
- Lohman, D.F. & Kyllonen, P.C. (1983). Individual differences in solution strategy on spatial tasks. In R. F. Dillon, and R. R. Shmeck (Eds.), *Individual differences in cognition (Vol. 1)*. Academic Press.
- 間處耕吉・林武広(2013)「視点移動能力の習得を重視した金星の見え方の新指導」『地学教育』第66巻, 第2号, 31-41.
- 益田裕充(2007)「学習指導要領への位置づけの変遷と子どもの空間認識に基づく発展的な学習内容の検討—「月が満ち欠けする理由」をめぐって—」『科学教育研究』第31巻, 第1号, 3-10.
- 松森靖夫(1982)「方位概念に関する認識能力の分析-東・西・南・北について-」『地学教育』第45巻, 第2号, 65-73.
- 松森靖男(1983)「児童・生徒の空間認識に関する考察(III)-視点移動の類型化について-」『理科教育学会研究紀要』Vol. 24, No. 2, 27-35.
- 松森靖夫・関利一郎(1981)「児童・生徒の空間認識に関する研究(II)-方向概念を中心として-」『日本理科教育学会研究紀要』Vol. 22, No. 2, 61-71.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric and environment, genetic hormonal, and Neurological influences. *Psychological Bulletin* 86, 889-918.
- McGrew, K. S. (2005). The Cattell-Horn-Carroll theory of cognitive abilities. In D.P. Flanagan & P.L. Harrison (Eds.) *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues.*, 2nd ed. 136-181 New York: Guilford Press.
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research, *Intelligence*, 37(1), 1-10.
- McGrew, K. S. (2012). Implications of 20 Years of CHC Cognitive-Achievement Research_Back to the Future and Beyond CHC
- 森本信也(1983)「児童・生徒の認知能力を基礎にした理科カリキュラム評価(1)-英国におけるカリキュラム評価プロジェクトCSMSを事例として」『日本理科教育学会研究紀要』Vol. 24, No. 1, 31-40.
- 村上宣寛(2007)『IQってホントは何なんだ? 知能をめぐる神話と真実』 日経BP. 中高下亨・前原俊信・永田邦生・荒森圭子(2002)「中学校天体学習に関する一考察-自作モデル教材の導入と生徒の方位概念-」『理科教育学研究』 Vol. 43, No. 2, 35-44.
- 中高下亨・前原俊信・永田邦生・荒森圭子(2002)「中学校天体学習に関する一考察-自作モデル教材の導入と生徒の方位認識」『理科教育学研究』第43巻, 第2号, 35-43
- 中野英之(2008)「外惑星の位相変化と視運動を理解するための教材の開発」『地学教育』第61巻, 第2号, 49-57.
- Nuttal, R. L., Casey, M. B., & Pezaris, E. (2005) Spatial ability as a mediator of gender differences on mathematics test. In A. M. Gallagher & J. C. Kaufman (Eds.) *Gender differences in mathematics: An integrative psychological approach* (pp.121-142) New York: Cambridge University Press.

- 岡田大爾(1995)「空間概念を促進する金星の満ち欠けの指導」『中学校理科教育実践講座』Vol. 8, ニチブン, 97-105.
- 岡田大爾(2004)「子ども達が自ら問題解決の必要感をもつ事象提示の在り方の実践的研究」『臨床教科教育学会誌』第3巻, 第1号, 83-87.
- 岡田大爾(2009)「児童・生徒の天文分野における空間認識に関する研究-1985年当時の視点移動能力について-」『地学教育』第62巻, 3号, 79-88.
- 岡田大爾(2013)「時空間の謎解きに誘う平面・立体一体型モデルとそれを用いた天体教材づくり」『日本地学教育学会第67回全国大会現職教員向けワークショップテキスト』3-7.
- 岡田大爾・松浦拓也(2014)「天文分野における児童・生徒の空間認識に関する比較研究」『図学研究』143号, 3-10.
- 岡田大爾・松浦拓也・小野瀬倫也(2014)「空間的な思考を促進する平面・立体一体型モデルを用いたワークショップと現職教員の評価」『地学教育』
- 岡田大爾・竹野英敏(2002)「マルチメディアシミュレーションを使った子どもの思考力を伸ばす工夫」森本信也編著『論理を構築する子どもと理科授業』東洋館出版, 174-183.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1948). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Press Universitaire de France. (Translated by F. J. Langdon & J. L. Lunzer 1956 *The child's conception of space*. Routledge & Kegan Paul.) Selected Workz books. google. com 2013.
- Sasaoka, T., Asakura, N., & Kawahara, T. (2010). Effect of Active Exploration of 3-D Object Views on the View-Matching Process in Object Recognition. *Perception*, vol. 39, 3, 289-308.
- Schneider, J. & McGrew, K. (2012). The Cattell-Horn-Carroll model of intelligence. In D. Flanagan & P. Harrison (Eds.), *Contemporary Intellectual Assessment: Theories, Tests, and Issues (3rd ed.)*. 99-144 New York: Guilford.
- Shayer, M. & Adey, P. (1981). Towards a Science of Science Teaching. Heineman, 72-79.
- Shea, D. L., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93, 604-614.
- Shen, J., & Confrey, J. (2007). From conceptual change to transformative modeling: A case of an elementary teacher in learning astronomy, *Science Education* Wiley Inter Science Periodicals, Inc, 2007
- Shepard, R.N. & Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper folding, *Cognitive Psychology*, 2, 230.
- Shepard, R.N. & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional object, *Science*, 171, 702.
- 土田理・小林学(1986)「児童・生徒の天文分野における視点移動能力の発達過程と関係する基礎研究」『地学教育』第39巻, 第5号, 167-176.
- 宇尾野卓巳・古屋光一(2011)中学校理科における方位概念の認識, 臨床教科教育学会誌 第11巻 第2号 1-8
- Vandenberg, S. G. & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599-604.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C.P. (2005). Creativity and occupational accomplishments among intellectually precocious youth: An age 13 to age 33 longitudinal study. *Journal of Educationnal Psychology*, 97, 484-492.
- Wexler, M. & Kosslyn, S.M. & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68, 77-94.
- Zimmerman, W.S. (1953). A revised orthogonal rotation solution for Thurstone's original primary mental abilities test battery. *Psychometrika*, 18, 77-93.