

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19300282

研究課題名（和文） 認識と動作の分析に基づくスキル学習支援環境の構築

研究課題名（英文） Development of Skill Learning Environment based on Analysis of Recognition and Action

研究代表者

曾我 真人 (SOGA MASATO)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：60252839

研究成果の概要（和文）： スケッチ描画時の学習者のスキルを、磁気式位置センサ、圧力センサ、視線分析装置を用いて計測し、分析した。また、スケッチを自習学習的に学習するときに、アドバイスを提示する学習支援環境を提案し構築した。また、人物画の模写によるスケッチ学習支援環境も構築した。さらに、料理のスキルのひとつとして、リンゴの皮むき時の手指の圧力や視線を計測し、初心者と熟練者の違いを明らかにした。これは、将来的に、料理の学習支援環境を構築するための布石である。

研究成果の概要（英文）： We analyzed learners' skill during drawing sketches measured by magnetic position sensor, finger pressure sensor and eye mark recorder. We also proposed and developed some sketch learning environments for novice learners. In addition, we developed sketch learning environment for learning human body figures. Furthermore, we measured learners' finger pressures and eye motions during peeling apples. It reveals the difference between novices and experts of apple peeling. This aims to develop a learning environment for cooking in near future.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 19 年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
平成 20 年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
平成 21 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
総計	15,500,000	4,650,000	20,150,000

研究分野：教育工学

科研費の分科・細目： 分科…科学教育・教育工学, 細目…教育工学

キーワード： 学習支援, スキル, スケッチ, 視線, 指先圧力

1. 研究開始当初の背景

学習は、学習内容で分類すると、数学、物理、英文法など、記号で表現可能な形式知の学習と、スポーツ、芸術（絵画描画、楽器演奏、陶芸、書道、華道など）、もの作りなど、実技、あるいは、身体動作（身体知）がかかわるスキルの学習とに大別される。前者の形式知学習とその支援システムについては、長い間研究が行われ、非常に多くの試作システムと研究論文が発表されている。しかしながら、後者のスキルについての学習支援システ

ムは、ここ数年、研究事例が見られるようになったばかりである。例えば、陶芸の学習支援については、佐賀大学の中村らによる陶芸学習への ICT 活用に関する実践的研究があり、ペン字の学習支援については、香川大学の富永、山崎らの研究がある。これらのシステムは、それぞれのドメインで支援方法を最適化して、システム設計を行っている。

しかし、形式知の学習支援に比べて、スキル学習支援環境の設計方法論の体系的な理論構築は遅れている。申請者らは、ある適切な抽象度で様々なスキルを比較すると、ス

キルに共通な性質が存在することを明らかにしてきた。その成果は、人工知能学会のスキルサイエンス特集号解説論文、曾我真人、瀧寛和、松田憲幸、高木佐恵子、吉本富士市、スキルの学習支援と学習支援環境、人工知能学会誌 Vol. 20 No. 5, pp. 533-540, 2005, に掲載されている。その内容の一部を抜粋すると、次のようになる。

絵画描画を含め、一般に、スキル行為は、対象物の①認識、②認識と行動の対応づけ（認識結果に対する最適な行動の選択）、③行動、のサイクルを繰り返す。芸術やもの作りのスキル行為の場合は、行動の結果として、④成果物を作成する。

絵画やデッサンの描画においては、①は、モチーフを認識すること、②は、モチーフを認識した結果、モチーフの形状に応じて最適な腕動作を選ぶこと、③は、腕動作により、2次元の画用紙に絵を描くこと、④は、描かれた絵やデッサン画である。

筆者らは、これまで、④にあたる描き終わったデッサン画を、絵画教師の代わりに、自動で診断し、最適なアドバイスを学習者に与えてくれるデッサン学習支援システムを構築してきた。この試作システムは、論文発表としては、高木佐恵子、松田憲幸、曾我真人、瀧寛和、志磨隆、吉本富士市：初心者のための基礎的鉛筆デッサン学習支援システム、画像電子学会誌、第 32 巻第 4 号, pp. 386-396, 2003, のほか、国際会議 ICCE2005, IWAIT 2007, SCIS & ISIS 2006, GRAPHITE2005 などで、数多く発表している。

ところが、研究を推進していくと、画用紙上に描き終わったデッサン画の診断だけでは、学習の支援に不十分なことが明らかとなった。なぜなら、描き終わったデッサン画に誤りがある場合、その誤りの原因は、①～③のいずれか、あるいは、いくつか重なって生じていることになる。したがって、最適なアドバイスを提示するためには、誤りの原因が①～③のどれなのかを診断する必要がある。これについては、ジャーナル論文、古川康一、曾我真人、瀧寛和、他 11 名：“身体知研究の潮流・身体知の解明に向けて”人工知能学会論文誌 Vol. 20, No. 2. 117-128 (2005) でも触れている。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、期間内には、デッサンや絵画の描画を主なスキル課題として、(1)スキル課題実行時において、①の「認識」に密接に関連する視線の動きの分析と、③の「行動」について腕動作や指先圧力の分析を行う。

(2) (1)の分析結果を踏まえて、学習者がスキル課題を実行しているときに、リアルタイ

ムで視線の動きと腕動作の動きを診断し、最適なアドバイスを提示して、スキルの学習を支援する自習型学習支援環境の構築を行う。

3. 研究の方法

手指や腕の動作の測定は、Polhemus 社製の Liberty や Isotrak II を用いた。これらを手指に装着し、腕と手指の動きを計測した。

さらに、手指で何らかの道具を把持する場合の指先の圧力の測定は、PPS 社製 FingerTPS ワイヤレスシステムを用いて行った。

一方、スキルの課題実行時の①認識を間接的に測定するため、視線の分析を行った。具体的には、NAC 社製の視線記録装置 EMR-8B を用い、スケッチ描画時の視線の動きを測定した。

(1) 手指の動きの測定実験

①実験目的

上手なスケッチのための重要な要素の一つとして、滑らかな線を引くことが挙げられる。しかし、これを苦手とする初心者が多く見受けられる。手指の三次元位置を計測することで、滑らかな曲線を描く際の特徴を掴むことを目的として本実験を行った。

②実験方法

被験者は、計 11 個の位置センサを装着する。鉛筆に触れる右手の親指、人差し指、中指の関節にこのセンサを設置し、その三次元位置の推移を検知することで、手指の動きを計測する。

計測する動作としては、モチーフとして皿を用意し、その輪郭線を鉛筆で手元の紙にスケッチするというものである。この際に、スケッチする紙には、予め皿の外接長方形線（縦 9.5cm 横 19cm）を用意し、それを目安に描画する。

また、より比較しやすいデータ検出のため、スケッチの描き順を指定し、これにならって動作検出をし、同時にビデオ撮影を行った。尚、分析の際には特定の曲線を描く際の位置情報をサンプリングし、比較分析した。

(2) 指先圧力の測定実験

①実験目的

スケッチにおけるトーン付けはスケッチの立体感や質感を生む重要な技術である。指先から鉛筆にかかる圧力を計測し、均一なトーンと圧力の関係を導くことを目的に本実験を行った。

②実験方法

被験者は、3 個の圧力センサを装着する。鉛筆に触れる親指、人差し指、中指の指先に圧力センサの感知部分が該当するようフィンガーグローブを設置し、その圧力を計測する。

計測する動作としては、紙に段階付けたトーンを鉛筆で塗り重ねるというものである。縦9.5cm横6.5cmの枠3つを印刷した用紙を使用した。左枠は無色のままとし、中枠は一段階のトーン付け、右枠は二段階のトーン付け（終了後は濃いトーン）を行い、右に枠が進むに従って濃いトーンとなるようにする。

データのサンプリングとしては、中枠全面にトーン付けを行う際の圧力の推移を採用した。また、圧力計測の際にWEBカメラを同期し、動画撮影も併せて行った。

(3) スケッチ時の視線の動きの分析実験

①実験目的

モチーフの陰影を紙に鉛筆の線によるタッチで塗り重ねることがスケッチの最終段階で求められるが、濃淡を重ねる際に重要なものが物を捉えるという視覚的認識であり、それをある程度反映するのが視線の動きである。そこで、モチーフを捉える視線の動きとスケッチの関連性を求めるため視線分析を行った。

②実験方法

被験者は視線分析装置を装着する。描画動作時の視線の動向とモチーフとしての皿と手元の注視の割合を計測し、分析する。

計測する動作は、モチーフの輪郭線だけをトレースした紙（輪郭線の外接長方形は縦12cm横23cm）を用意し、これにトーンを鉛筆で塗り重ねるというものである。この際、モチーフの左上方に光源を設置し、これによる皿の影を含めたトーン付けを行う。

(4) スケッチ描画スキル学習支援環境の構築

我々の研究室では、以前からデッサン学習支援に関する研究を行っている。既発表システムには、描き終えた絵を診断するシステムがある。しかし、描き終えた絵を診断して助言を行うと、絵が誤りを含んでいた場合に、その誤りがなぜ生じたのかの原因を特定することができない。また、描き終わってから修正点を指摘された場合、最初から描きなおす必要が出てきて、学習者がやる気をなくす可能性もある。

このため、描き終えた後よりも描画中に診断の方が望ましいと考えられる。本研究では、そのような、描画中に診断し、助言を行うようなスケッチ学習支援環境を提案し、試作システムを構築する。

4. 研究成果

(1) スケッチ時の腕や手指の動き

初心者と熟練者の差異を比較する。第一に描画時間であるが、初心者の平均値と熟練者の値に差はない。しかし初心者の値の分散が大きく、熟練者の値と比べ時間が短い長い

かという両極端なデータである。適正な時間を初心者が掴めていないと推測される。

次に描画速度であるが、熟練者の描画速度は初心者に比べ大幅に遅く、曲線の切断回数も少ない。描画速度を落とすことで、滑らかで切れ目のない曲線が引けるものと考えられる。

(2) スケッチ時の指先の圧力

出力されるグラフと成果物評価を鑑みた結果、上手なトーン付けの出力にはいくつかの特徴が見いだせた。第一の要素としては、圧力をかける指が定まっていることである。鉛筆の持ち方には個人差があるが、上手なトーン付けをできている被験者ほど、力を入れている指、入れていない指がはっきりしている。第二に、一定の値まで圧力が上昇した後の圧力の推移が平坦であることである。手を動かすので一定の値を取るわけではないが、一定の振れ幅で圧力をかけ続けることがポイントであると言える。

(3) スケッチ時の視線の動き

①分析1

今回の実験で計測した動作はスケッチのトーン付けであり、視線はモチーフと手元を行き来する。この分析のため、まず、総描画時間とモチーフを注視している時間の合計（総描画時間）を比較し、総注視時間を総描画時間で割った値を注視時間比率とする。また、視線を行き来させた回数を注視回数とし、そして、何秒に一度の割合でモチーフを見ているか、すなわちモチーフを見始めてから、手元を見て、次にモチーフを見始めるまでの1サイクルの平均時間について知るために、総描画時間を注視回数で割った値を平均1サイクル時間と定義する。

分析1において、初心者と熟練者の総注視時間や注視時間比率には大きな差異は見られなかった。総描画時間は熟練者の方が短く、これは熟練度によるものであろう。差異として特に顕著に顕れたのは、注視回数と平均1サイクル時間である。回数として、初心者は平均73.2回モチーフを見ているが、熟練者は50回であり、これにより平均1サイクル時間も長くなっている。熟練者ほど一回の注視によって得る情報量が多く、これを手元に反映する時間が長い傾向にあり、初心者は注視により得る情報量が少なく、アウトプットも未熟なため注視回数が増えると推測される。

②分析2

次に、それぞれの被験者がモチーフに視線を置く時間について、どれだけの長さの注視を各何回行っていったかの分析を行った。これは、1回あたりの注視時間をそれぞれ計測し、その長さによってソートしカウントしたも

ので、0～1秒、1～2秒、2～3秒、3～4秒、4～5秒、それ以上という6段階の区分を設けた。

分析2では注視時間について分析を行ったが、初心者の注視が0～1秒、1～2秒に集中しているのに比べ、熟練者は短い注視も多いものの、5秒以上の長い時間の注視も多く、全体の情報を得るための注視として長く時間を使うことも重要なエッセンスと考えられる。

(4) スケッチ学習支援環境の提案と構築

① 描画領域依存アドバイス提示システム

このシステムでは、学習者は、ペンタブレット上に画用紙を固定し、付属のペン先に鉛筆の芯を装着し、モチーフをスケッチする。モチーフは、サイズが既知の皿とコップとし、机の上の配置も決めておく。さらに学習者の視点の位置も決めておく。これにより、システムは、あらかじめ、正解となるスケッチ画を計算で求めることができる。

そして、学習者がスケッチを描画するときに、ペンを画用紙に近づけると、その領域に何を描けばよいかをアドバイスするシステムである。詳細は、本稿の「5. 主な発表論文等」の中の〔雑誌論文〕の⑥で公開している。

② 腕動作診断助言システム

このシステムは、学習者の行動を診断し助言するシステムとして提案し構築した。スケッチを描画する学習者の腕の各関節に磁気式位置センサ Isotrak II のレシーバを装着し、スケッチ描画時の腕動作をリアルタイムでシステムが認識する。そして、その動作を診断し、間違った動きをしていた場合に、それを指摘し、どのように修正すればよいかを、リアルタイムにアドバイスする。詳細は、〔雑誌論文〕の⑧で公開している。

③ 概略形状から詳細形状への描画誘導時に診断助言機能を持たせたデッサン学習支援システム

このシステムは、前述の①の描画領域依存アドバイス提示システムの欠点を改良する形で提案し試作システムを構築した。描画領域依存アドバイス提示システムでは、いきなり、モチーフの輪郭線を描かせていたが、それでは、一般的なスケッチの描画スキルが身につけにくい。そこで、モチーフを概略形状から詳細形状へ描かせるために、描画誘導機能と、途中段階での診断助言機能を組み入れた。具体的には、画用紙にモチーフ全体の外接長方形を描かせ、その長方形の大きさ、位置、縦横比を診断助言する。次の段階として、その中の個々のモチーフの外接長方形を描かせ、同様に診断し、助言する。これを繰り返して、次第に詳細な部分を描かせる方式である。このシステムの詳細については、〔雑誌論文〕の④において英文で公開している。また、同様の内容を和文で〔学会発表〕⑧～⑫で公開している。

④ ARを用いた自由な構図によるスケッチ学習支援環境

このシステムは、これまでのスケッチ学習支援環境においては、学習者の視点の位置や、モチーフのレイアウトが予め決められた位置に固定されていて、学習者が自由に決めることができなかつた欠点を改善するために提案し、試作システムを構築したものである。主なアイデアは、モチーフをCGで作成し、仮想現実感(AR)技術を用いて、現実世界の机の上に重畳表示するものである。システムは、モチーフのデータを持っており、かつ、マーカの見え方から視点の位置を計算で求めることができるため、その視点位置から見たモチーフのCG画像を提示することが可能となる。詳細は、〔雑誌論文〕の②で英文で公開している。また、同様の内容を和文で〔学会発表〕①および③～⑤で公開している。

(5) その他の成果

その他、紙面の都合で詳細な記述はできないが、人物画の模写のスキルの学習を目的とした人物画模写スケッチ学習支援環境の提案と試作システムの構築を行っている。詳細は、〔雑誌論文〕の③と〔学会発表〕の⑦で公開している。

また、透視図法の学習支援環境の研究を行っており、〔雑誌論文〕の⑤で公開している。

さらに、リンゴの皮むき時の手指の圧力や視線の動きの分析を行っており、〔雑誌論文〕の①および、〔学会発表〕の②で公開している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① Saori Ota, Masato Soga, Nami Yamamoto, Hirokazu Taki, Comparison of Experts' between Non-experts' Apple Peeling Skills and the Designing of Learning Support System, pp.266-271, 2010 IEEE International Symposium on Multimedia, 2010, 査読有
- ② Kazuya SHIROUCHI, Masato SOGA & Hirokazu TAKI, AR-supported sketch learning environment by drawing from learner-selectable viewpoint,

ICCE2010, pp. 533-542, 2010, 査読有,
**Nomination of Best Technology Design
Paper Award**

- ③ Masato Soga, Takahisa Fukuda and Hirokazu Taki, Sketch Learning Environment for Human Body Figure by Imitative Drawing, KES2009 (Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Lecture Notes in Computer Science, 2009, Volume 5712/2009), 599-606, 2009, 査読有
- ④ Masato Soga, Shota Kuriyama, Hirokazu Taki, Sketch Learning Environment with Diagnosis and Drawing Guidance from Rough Form to Detailed Contour Form, Transactions On Edutainment III, Volume 5940/2009, pp. 129-140, 2009, 査読有
- ⑤ Yoshitake Shojiguchi, Masato Soga, Noriyuki Matsuda, and Hirokazu Taki, Interactive Learning Environment for Drawing Skill Based on Perspective, 12th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 695-700, 2008, 査読有
- ⑥ 曾我真人, 松田 憲幸, 瀧 寛和, デッサン描画中に描画領域に依存したアドバイスを提供するデッサン学習支援環境, 人工知能学会論文誌, Vol. 23, No. 3, 96-104, 2008, 査読有
- ⑦ 松田憲幸, 高木佐恵子, 曾我真人, 堀口知也, 平嶋宗, 瀧寛和, 吉本富士市, 鉛筆デッサンが表す写実誤りの三次元モデルによる顕在化, 電子情報通信学会論文誌 D Vol. J91-D, No. 2, 324-332, 2008, 査読有
- ⑧ 曾我真人, 前野浩孝, 古賀俊廣, 和田隆人, 松田憲幸, 高木佐恵子, 瀧寛和, 吉本富士市, 学習者の腕動作のアニメーション機能を持つデッサン腕動作リアルタイム診断助言システムの構築, 教育システム情報学会誌 Vol. 24, No. 4, 311-322, 2007, 査読有
- ⑨ Masato Soga, Noriyuki Matsuda, Hirokazu Taki, Sketch Drawing Support Environment based on Recognition Skill Analysis, ISSS' 07 (International

Symposium on Skill Science 2007), 61-67, 2007, 査読有

- ⑩ Soga, M., Matsuda, N., Takagi, S., Taki, H., Yoshimoto, F.: Sketch Learning Environment based on Drawing Skill Analysis, KES2007. In: Apolloni, B., Howlett, R. J., Jain, L. (eds.) KES 2007, Part III. LNCS (LNAI), vol. 4694, pp. 1073-1080. Springer, Heidelberg, 2007, 査読有

[学会発表] (計 15 件)

- ① 城内 和也, 曾我 真人, 瀧 寛和, AR を用いた自由な構図によるスケッチ学習支援環境, 教育システム情報学会全国大会, 北海道大, 2010. 8. 26, **大会奨励賞受賞**
- ② 太田 沙織 曾我 真人 山本 奈美 前川 泰子 真嶋 由貴恵 瀧 寛和, りんごの皮むきスキルの熟練者と非熟練者の比較分析, 第 24 回人工知能学会全国大会, 長崎ブリックホール, 2010. 6. 11
- ③ 城内 和也, 曾我 真人, 瀧 寛和, AR で自由に決定した視点位置でのスケッチ描画を支援する学習支援環境, インタラクション2010, 情報処理学会, 学術情報センター/一橋記念講堂, 2010. 3. 2
- ④ 城内和也, 曾我真人, 瀧寛和, AR を用いた自由に視点位置決定が可能なスケッチ学習支援環境, 第 14 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 日本バーチャルリアリティ学会, 早稲田大学, 2009. 9. 11
- ⑤ 城内和也, 曾我真人, 瀧寛和, AR を用いたスケッチ学習支援環境の構築, 第 34 回教育システム情報学会全国大会, 名古屋大, 2009. 8. 20
- ⑥ 曾我真人, 松田憲幸, 瀧寛和, 認識・行動選択・行動の各段階の学習を支援するスキル学習支援環境 - デッサン描画スキル学習支援を例として -, 第 34 回教育システム情報学会全国大会ワークショップ, 教育システム情報学会, 名古屋大, 2009. 8. 19
- ⑦ 曾我真人 (和歌山大), 福田貴久 (アイレム), 瀧 寛和 (和歌山大), 関節間長と関節角度の診断機能を持つ人物画模写学習支援環境, 産業システム情報化研究会, 電子情報通信学会, 秋田大, 2009. 7. 30

- ⑧ 曾我真人, 栗山 翔太, 床井 浩平, 松田 憲幸, 瀧 寛和, スケッチ学習における概略形状から詳細形状への描画誘導と診断助言機能の構築と学習支援効果の検証, 第 23 回人工知能学会全国大会, 人工知能学会, サンポートホール高松, 2009. 6. 17
- ⑨ 栗山 翔太, 曾我 真人, 松田 憲幸, 瀧 寛和, 概略形状から詳細形状への描画誘導時に診断助言機能を持たせたデッサン学習支援システム, 情報処理学会インタラクシオン 2009, 学術情報センター/一橋記念講堂, 2009. 3. 6
- ⑩ 栗山 翔太, 曾我 真人, 松田 憲幸, 瀧寛和, 構図・形状の詳細化過程において診断助言可能なデッサン学習支援環境とその評価, 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会 (ALST), 京都外国語大, 2008. 11. 15
- ⑪ 栗山翔太・曾我真人・松田憲幸・瀧寛和, 概略形状から詳細形状への描画誘導機能をもつデッサン学習支援環境, 第 33 回教育システム情報学会全国大会, 熊本大, 2008. 9. 3
- ⑫ 栗山翔太・曾我真人・松田憲幸・瀧寛和, モチーフの構図・形状詳細化の過程を考慮したデッサン学習支援環境, 電子情報通信学会教育工学研究会 (ET), 千里金襴大, 2008. 9. 6
- ⑬ 曾我真人, 松田憲幸, 瀧 寛和, 描画時に認識と動作の支援を行うデッサン学習支援環境, 情報処理学会エンターテイメントコンピューティング2007 (EC2007), 大阪大学コンベンションセンター, 2007. 10. 2
- ⑭ 斎藤 洋志, 古賀 俊廣, 前野 浩孝, 和田 隆人, 曾我 真人, 松田 憲幸, 高木 佐恵子, 瀧 寛和, 吉本 富士市, デッサン学習者の視線と動作の分析と学習支援環境への応用, 第 21 回人工知能学会全国大会, 宮崎市ワールドコンベンションセンターサミット, 2007. 6. 20
- ⑮ 曾我真人, スキルのタスク分析とインタフェース設計のための 3 大理論と応用—デッサンスキル学習への応用と看護スキルへの応用の可能性—, 第 3 回 e 学習理論研究会, 香川大, 2007. 5. 19

6. 研究組織

(1) 研究代表者

曾我 真人 (SOGA MASATO)
和歌山大学・システム工学部・准教授
研究者番号: 60252839

(2) 研究分担者

瀧 寛和 (TAKI HIROKAZU)
和歌山大学・システム工学部・教授
研究者番号: 10304180

(3) 研究分担者

松田 憲幸 (MATSUDA NORIYUKI)
和歌山大学・システム工学部・准教授
研究者番号: 40294128

(4) 研究分担者 (ただし, 2007 年度のみ)

高木 佐恵子 (TAKAGI SAEKO)
和歌山大学・システム工学部・講師
研究者番号: 60332772