

理科学習における観察スケッチの評価を支援するシステムの開発

金沢大学 松原 道男

本研究では、理科の観察スケッチの評価を支援するシステムの開発を行うとともに、開発したシステムから観察視点の特徴を類推し、観察における指導上の示唆を得ることを目的とした。システムは、Visual Basic により、深層学習における画像処理の方法を一部参考にし、これまでに開発してきた自己組織化マップを用いて作成した。その際、フィルタ処理のあるものとないものを作成し比較した。観察スケッチは、中学生を対象に顕微鏡を用いて植物の茎の断面と気孔を観察したものである。システムの妥当性の評価は、自己組織化マップによる観察スケッチの配置をもとに行った。その結果、フィルタのあるシステムでは、90%近くの観察スケッチが適切に配置されており、システムの妥当性が明らかになった。そこで、フィルタの特性から対象の構造の輪郭に注目して観察させるとよいことなどが類推され、指導上の示唆を得ることができた。

キーワード：観察スケッチ，画像処理，評価，自己組織化マップ，システム開発

1. 問題の所在

理科の学習では、具体的な自然を対象に観察・実験を通して問題解決を行うところに教科の独自性がある（角屋・雲財，2015，p. 58）。したがって、理科では自然事象の観察・実験が重要な位置を占める。例えば小学校第3学年の植物の観察においては、色や形、大きさ、手触りなど、五感を働かせることが求められている（文部科学省，2018，p. 40）。一方、観察視点や観察結果の解釈は、認識する側の知識構成によって異なり、理論負荷性の問題として指摘されている（Hanson, 1971, pp. 38-47）。また、池田・三崎（2012）は、子どもの場依存型、場独立型の認知スタイルの違いによって、観察記録に違いが生じることを明らかにしている。この観察における理論負荷性や認知スタイルの影響は、学習者が自然事象を見さえすれば、教師の意図した観察が行われるものではないことを示している。貫井（1999）は、「生徒の自主的な取り組みに任せたような観察の観点ではなく、観察とはどのようにすることなのかを明示する必要がある」ことを指摘している。このように観察指導の重要性が指摘されている。しかし、観察の際の視点をどう与え、どうスケッチさせるかなどの指導法については、十分に研究されているとはいえない。

一方、観察スケッチは、広くは描画としてとらえ

ることができる。描画は、自然事象のイメージやモデルの表現にも用いられ、思考の道具として重要な表現法である（兒玉・中山，1997）。そして、描画は定性的であるがゆえに、定量化した客観的な評価が難しいことが指摘されている（ホワイ特・ガンストン，1995，pp. 127-136）。

ところで、描画などの画像分析や評価に関しては、最近では人工知能の研究、特にディープラーニングにより、精度が飛躍的に向上してきている（山下，2016，pp. 2-9）。教育における描画の評価についても、これらの技術を利用することが考えられる。また、人工知能の研究には、「作る」ことを通して「知る」という考え方がある（松尾，2016，pp. 1-5）。人間の処理に近づいた画像処理システムは、人間の処理と同等とは限らないが、一つの処理モデルとして、人間の特徴を分析するのに役立てていけることが考えられる（浅川，2015，pp. 95-112）。そこで、画像処理のモデルから、観察スケッチにおける教育的な示唆を得ることが考えられる。

著者は、これまでの研究（松原，2017）において、人工知能の処理にも用いられる自己組織化マップを用いて、科学的な記述内容の分類を行い、評価する方法を明らかにしてきた。類似した内容を近くに配置することにより、類似したものを同じように評価できるため、評価を支援するシステムとして用い

てきた。そこで、これまでに開発してきたシステムを応用することにより、描画の分類と評価に役立てることを考えた。

2. 研究の目的

以上のことから、本研究においては、観察スケッチについて、次の2点の開発や解明を行うことを研究の目的とした。

①観察スケッチの類似性を分類することにより、観察スケッチの評価を支援するシステムの開発を行う。

②開発したシステムで用いるフィルタの特徴から、観察の視点を類推し、観察における指導上の留意点を明らかにする。

なお、システムの開発においては、これまでの研究で開発してきた自己組織化マップの利用を考え、観察スケッチの分類を行うことによって、評価を支援することを考えた。

3. 研究方法

(1) システムの開発方法

① プログラム言語

これまでのシステムは、Visual Studio の Visual Basic を用いて開発を行ってきた。そのシステムでは、自己組織化マップを用いて文章などのテキストの分類を行ってきた(松原, 2017)。この研究にもとづき、同じく Visual Basic を用いて Windows 上で動作するシステムを開発することにした。システムは、後述する観察視点を模したフィルタのあるものとなないものの2つを作成した。そして、その2つを比較することにした。

② システムによる画像分析の方法

観察スケッチの画像分析は、次の手順で行うことを考えた。まず、観察スケッチの画像をスキャナーで読み取り、一つ一つ Bitmap 形式のファイルにする。次に、そのファイルをシステムに取り込み、次の手順で処理を行う。その際、ディープラーニングにおける画像処理の方法を一部参考にして、フィルタ処理とそれと対にして用いられるプーリングを用いる(神嶋他, 2015, p.160)。そして、これと比較のためにフィルタを用いないシステムも作成する。

・観察スケッチの画像ファイルから 30×30 ピクセ

ルに圧縮したグレースケールのデータを作成する。

・圧縮した画像データの輝度(0~255の値)を「基礎データ」とする。

・フィルタを用いるシステムでは、画像の「基礎データ」をフィルタ処理と後述するプーリングによって処理し、「加工データ」とする。

・「基礎データ」またはフィルタを用いた「加工データ」をもとに、類似した画像が近くに配置される自己組織化マップを作成する。

③ 対象とした観察スケッチ

対象とした観察スケッチは、次の2つである。一つは、ツユクサやスズランなど、12の植物を対象に茎の断面を顕微鏡観察したスケッチである。公立A中学校第1学年の生徒17人を対象に、理科の授業時間に観察スケッチしたものである。植物の観察においては、着色した水を根からしばらく吸収させた。一人で複数の植物をスケッチした生徒もあり、得ることのできた30の観察スケッチを対象とした。

もう一つは、国立大学法人B附属中学校第1学年104人を対象に、理科の授業時間にツユクサの気孔を顕微鏡観察したスケッチである。スケッチができて、授業中に提出のあった91の観察スケッチを対象にした。

(2) システムの妥当性についての評価方法

システムの妥当性については、自己組織化マップによって類似した観察スケッチが近くに配置されているかどうか、また類似したものがない観察スケッチは孤立しているかどうかを評価することにした。全ての観察スケッチの配置について、「妥当である」、「あまり妥当でない」、「妥当でない」の3段階で評価し、各評価の観察スケッチの度数を求めた。その際、類似性については、形が似ていても科学的な意味が異なる場合は、類似していないと判断した。評価については、著者および中学校理科教員2人の計3人の協議により、全員が同意するかたちで行った。

(3) 観察スケッチの指導法に関する分析法

システムは、フィルタがあるものとなないものの2つを作成する。フィルタは、人間でいえばある枠組みで対象をとらえる視点に相当すると考えられる。もしあるフィルタをかけることにより、フィルタをかけない場合よりも妥当な分類ができるのであれば、観察においてもそのフィルタに対応する視点で

とらえるように指導するとよいことが類推される。そこで、フィルタのあるものとなないものの、観察スケッチの分類の妥当性を比較し、指導上の示唆を得ることにした。

4. 結果

(1) 開発したシステムと操作方法

開発したシステムは、フィルタのあるものとなないものの2つであるが、操作法は両システムとも同じで、次の通りである。

①メニュー画面と画像データの設定

まず、分析したい観察スケッチの画像をBitmap形式で準備する。画像は任意のサイズでよい。ファイル名は「p1, p2・・・」というように名前の頭に「p」をつけ、区別のために順番に1から番号をつけておく。

開発したシステムをWindows上で起動すると、図1に示したメニュー画面が表示される。まず、左下の「画像フォルダ」をクリックすると、画像を配置するフォルダが開く。そこに準備した観察スケッチの画像ファイルを置く。画像を説明したテキストがあれば、メニュー右下の「テキストフォルダ」をクリックして、開いたフォルダにテキストファイルを置く。その際、画像に対応するように、「p1, p2・・・」といったファイル名にしておく。テキストがない場合は、ファイルを置く必要はない。今回の研究ではテキストファイルは用いていない。

次に、「画像数」と示された入力枠に、分析対象の画像ファイル数を書き込む。これらの準備ができたら、「データセット」をクリックする。

②分析データの作成

「データセット」がクリックされると画像ファイルに対して、次の処理が行われる。

- ・画像がカラーであってもグレースケールのデータに変換される。画像サイズを統一するために、30×30ピクセルの解像度に圧縮される。
- ・圧縮した画像の輝度(0~255の値)を求め、30×30の数値を画像の「基礎データ」(900の数値データ)とする。
- ・次に、フィルタを用いるシステムでは、画像の基礎データをもとに、後述するフィルタ処理とプーリングを行い、「加工データ」を作成する。

以上の処理が終わると、「データセット」のボタン



図1 システムのメニュー画面

の右に「終了」が表示される。

③自己組織化マップによる画像の分類表示

「自己組織化マップ作成」をクリックすると、「基礎データ」または「加工データ」をもとに、15×15のセルをもつ自己組織化マップが作成される。作成されると「自己組織化マップ作成」ボタンの右横に「終了」が表示される。次に「作成済み自己組織化マップ表示」をクリックすると、図2に示したような自己組織化マップが表示される。図2はフィルタのないシステムの結果で、茎の断面の観察スケッチの自己組織化マップである。一度作成するとシステムが閉じられても、再度システムを起動し、「作成済み自己組織化マップ表示」をクリックすることにより、作成したものを再び表示することができる。

自己組織化マップには、図2に示したように、セルに配置された画像が表示されるとともに、セルの中央に画像番号が小さく赤い数字で表示される。類似していればしているほど画像どうしが近くに配置される(コホネン, 1996)。自己組織化マップのセルに配置された画像をクリックすると図2の右上に示したように、その画像番号と拡大された画像、そして、その画像に関するテキストがあればその下の枠に表示される。また、右下の「参照」の左枠に画像番号を入力し、「参照」をクリックすると、入力した番号の画像が「参照」の下に表示される。画像を拡大して比較したいときに用いる。また、自己組織化マップの同じセルに画像が複数配置された場合、そのセルをクリックすると画像番号の一番大きい画像のみが表示される。その他の画像については、「画像番号」の枠に複数の番号が示されるので、その番号を「参照」に入力することにより、表示する

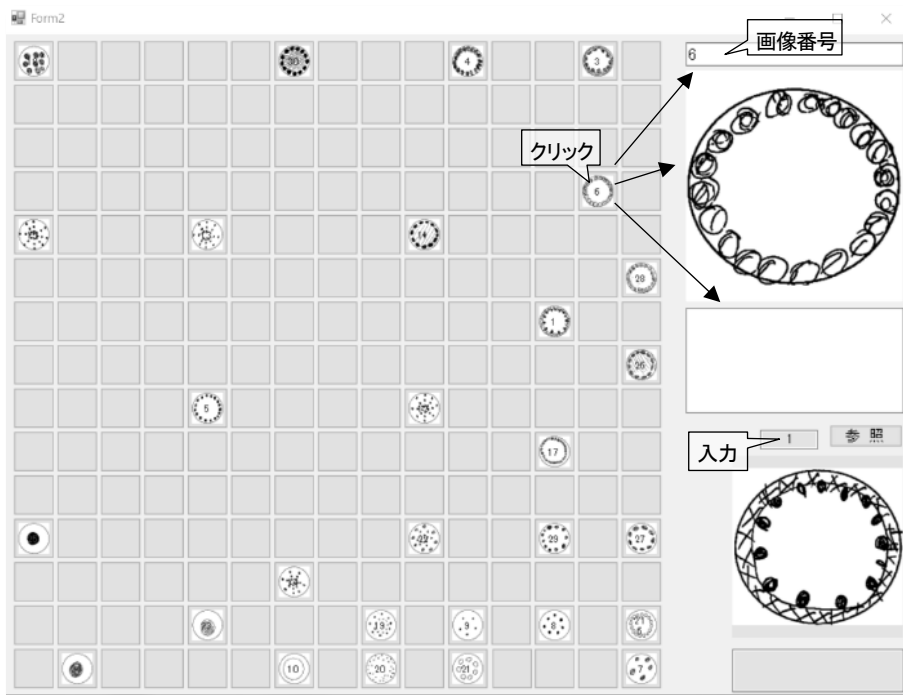


図2 自己組織化マップによる観察スケッチの分類結果

ことができる。

④フィルタ処理とプーリング

フィルタ処理とそれと対にして用いられるプーリングは、ディープラーニングなどで用いられる画像処理の一部であり、画像処理の精度をあげるために用いられる。フィルタには、例えば画像をシャープにしたり、逆に曖昧にしたりするものがある。観察視点の指導上の意味を見いだすことも考慮しながら、いくつかのフィルタを試行した。その結果、比較的分類の妥当性が認められた2つのフィルタを選び、その2つのフィルタを同時に用いるようにシ

ステムに組み込んだ。一つは、「メディアンフィルタ」であり、一つは、「ラプラシアンフィルタ」である。メディアンフィルタは、画像周りの画素の濃淡を中央値に変換するため、点程度の汚れのようなノイズがあった場合に、それを除去できるものである（塩入・大町，2011，pp. 88-89）。ラプラシアンフィルタは、画像の輪郭を検出するフィルタである（塩入・大町，2011，pp. 76-80）。

フィルタによる処理は、図3に示した手順で行われる。まず、図3aに示した30×30の「基礎データ」について、左上の3×3のデータに注目

する。そのデータと3×3の数値で示したフィルタの内積を求め、図3bに示した左上の一つのセルの値とする。次に、図3aの3×3の枠を右に一つ移動して、同じく内積を求め、図3bの先ほどの右隣のセルのデータとする。同じことを図3aの枠が右端にいくまで繰り返す。右端までいくと左端に戻り、今度は枠を1行下げて同じことを繰り返していく。その結果、30×30のデータは、縦横とも2つセルが少なくなり、28×28のデータとなる。

次に、この図3bのデータのプーリングを行う。こ

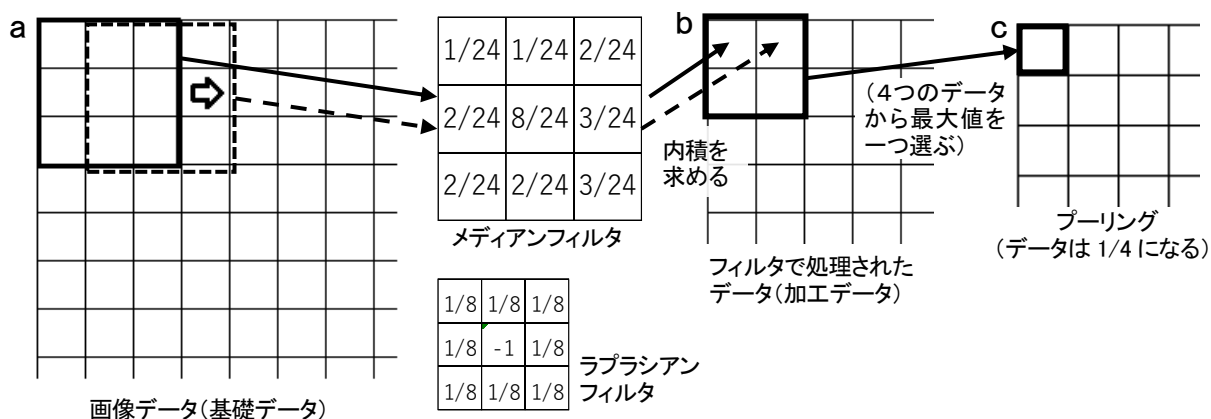


図3 フィルタとプーリングの処理

ここでは、画像認識でよく用いられる最大プーリングを用いる（岡谷，2015，p90）。プーリングは、画像内に現れる特徴の微少な位置変化に対応させるために行う（神畠他，2015，p. 160）。例えば、画像が少し傾いていたりずれたりしていても、同じものとしてとらえることができる。図 3b の 28×28 のデータを 2×2 の枠でグループ化する。そして、図 3c に示したように 2×2 の 4 つのデータのうち最大値を抽出し、4 つのデータの代表値とする。このことにより、データは 14×14 の $1/4$ のデータとなる。ここでは、2 つのフィルタを使うので、それぞれのフィルタでこの処理を行う。そして、2 つのデータを合わせ、 $14 \times 14 \times 2$ のデータを「加工データ」とする。このデータをもとに自己組織化マップを作成する。

(2) システムの妥当性の評価

フィルタのあるシステムとないシステムの 2 つを用いて、茎および気孔の観察スケッチの自己組織化マップを作成した。一つの自己組織化マップの作成に要した時間は、標準的なノートパソコンで 1 分 20 秒であった。自己組織化マップに位置づけられた観察スケッチの配置の妥当性について、評価を行った。配置が「妥当である」、「あまり妥当でない」、「妥当でない」の 3 段階の評価について、気孔の評価例を次にあげる。

図 4 に示したのは、「妥当である」と評価した例である。4 つの観察スケッチを示しているが、自己組織化マップにおいては、それぞれ近くのセルに配置されたものである。どれも一つの気孔に注目してスケッチされており、同じような観察スケッチととらえることができ、配置は「妥当である」と判断した。

図 5 に示したのは、「妥当でない」と評価した例である。自己組織化マップにおいては、同一のセルの中に配置され、ほぼ同じ観察スケッチと位置づけられたものである。図 5 の左の観察スケッチは、細胞の中でも気孔にだけ注目し、それを 2 つ並べるように描いている。一方、図 5 の右の観察スケッチは、細胞全体の様子をスケッチしている。小さな丸も気泡なのか細胞の構造なのかわかりづらく、どれが気孔なのかははっきりしない。したがって、同じような観察スケッチとはいえず、配置は「妥当でない」と判断した。

図 6 に示したのは、「あまり妥当でない」と評価し

た例である。4 つの観察スケッチが示してあるが、自己組織化マップにおいては、それぞれ近くのセルに配置されたものである。どれも細胞全体をスケッチしているという共通性があり、形も類似しているところがある。図 6 の右上のスケッチ以外は、細部はやや異なるものの気孔とその他の細胞の区別がはっきりしている。一方、右上のスケッチについては、2~3 個ほど、気孔をスケッチしているようにも見えるが、他の細胞との区別がはっきりしない。また、細胞どうしの隙間が多く、他の観察スケッチとは異なっている。そこで、この右上の観察スケッチの配置については、「あまり妥当でない」と判断した。

以上のようにして、自己組織化マップにおける観察スケッチの配置の妥当性を協議しながら評価し、その結果を表 1 に示した。表 1 には、各評価にあてはまる観察スケッチの度数を示している。

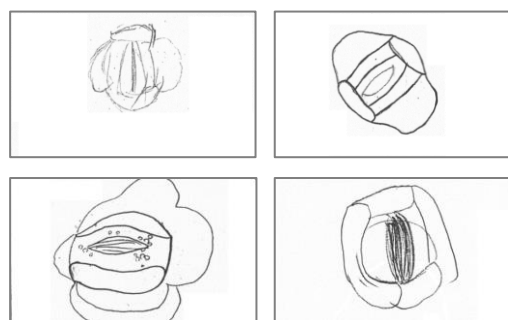


図 4 配置が「妥当である」の評価例

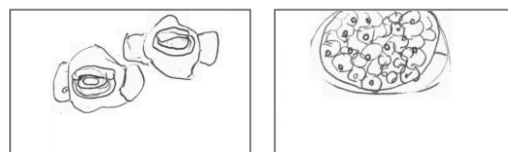


図 5 配置が「妥当でない」の評価例

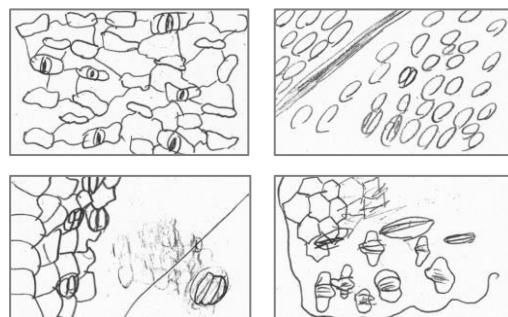


図 6 配置が「あまり妥当でない」の評価例

表1 システムの妥当性の評価結果

(数値は観察スケッチの度数)

対象	フィルタ	妥当である	あまり妥当でない	妥当でない	計
茎	無	24(80%)	4(13%)	2(7%)	30
	有	27(90%)	2(7%)	1(3%)	30
気孔	無	70(77%)	12(13%)	9(10%)	91
	有	79(87%)	4(4%)	8(9%)	91

5. 考察

システムの妥当性について、表1の「妥当である」の割合に注目する。フィルタのないシステムでは、「茎」と「気孔」とともに約80%である。フィルタのあるシステムでは、「茎」と「気孔」とともに、約90%である。「茎」および「気孔」において両システムを比較すると、「妥当である」割合がフィルタのある方が10%ほど高い。これらの結果から、本システムでは、観察スケッチについておおそ分類ができており、特にフィルタのあるシステムの妥当性が高いといえる。

フィルタのないシステムでは、特に気孔の観察スケッチの場合、「あまり妥当でない」の度数が大きいため、「妥当である」割合がフィルタのあるシステムよりも小さくなっている。フィルタのないシステムの自己組織化マップでは、気孔が分類されてグループになっているところの境界が曖昧である。そのため、同じような気孔が、そのグループと少し離れたところに配置されることが比較的多く見られる。また、茎においても同じような傾向がみられる。

以上の結果をまとめると、本研究で開発したシステムにおける観察スケッチの分類は妥当であり、特にフィルタのあるシステムの妥当性が高い。したがって、フィルタを用いたシステムを評価に活用するのがよいと考えられる。活用においては、システムを用いて評価の全てを行うのではなく、評価の参考として支援的に用いることを考える。同じような観察スケッチがグループ化されて配置されるので、同等な評価をしやすくなり、同じような観察スケッチの評価に差が生じなくなると考えられる。また、ある程度似ているが、違いがある観察スケッチを区別しやすくなり、その違いを評価に反映することができるといえる。

次に、システムから人間の観察視点を類推することによって、観察スケッチの指導について次のこと

が指摘できる。茎と気孔の観察スケッチにおいて、フィルタのあるシステムの方がより妥当な分類ができた。このことから、フィルタに関わる視点を観察においても留意するとよいことが類推される。メディアンフィルタは、フィルタの特性としてノイズの除去があげられる。このことから、スケッチする対象にもよるが、明らかに対象の構造に関係のない、例えば汚れのようなもののスケッチは必要ないことが考えられる。また、ラプラシアンフィルタは、輪郭を強調するものであり、対象にいくつかの構造が見られるときに、その構造の境界をはっきりと区別して観察スケッチするとよいことが考えられる。そこで、茎の断面や気孔の顕微鏡観察においては、構造が異なってくる部分の輪郭に注目してスケッチをし、構造と関係ないような汚れのようなものへの注目は必要ないことを指導するとよいと考えられる。これらのことは、モデル上指摘できることであり、今後、実際に茎の断面や気孔の顕微鏡観察などにおいて、観察におけるこれらの留意点について指導を行い、その効果を検証していく必要がある。

また、観察する対象によって、システムにおける適切なフィルタに違いがあるかどうかの検討も必要であり、対象によって違いがあれば、その対象に応じた指導を行う必要がある。さらに、今後の研究課題として、本研究では、顕微鏡による観察スケッチを対象としたが、理科学習におけるイメージやモデルなどの描画についても、本システムが有効であるかを明らかにしていくことが考えられる。これらに加え、今回は観察における気づきなどのテキストをデータとして用いていないが、テキストの内容も含めた評価も今後の発展研究として考えられる。

参考文献

- 角屋重樹・雲財寛 (2015) 科学的な見方や考え方を育てる理科, 日本教科教育学会編「今なぜ, 教科教育なのか」, 文溪堂, pp. 56-61
- 文部科学省 (2018) 小学校学習指導要領解説理科編, 東洋館出版社
- Hanson, N. R. (1971) 科学理論はいかにして生まれるか, 講談社
- 池田仁人・三崎隆 (2012) 小学校3年生の植物観察における認知型グループ編制の影響, 日本理科教育学会理科教育学研究, 53(2), pp. 209-218

- 貫井正納（1999）観察記録の書き方の支援と援助，理科の教育，pp. 52-53
- 兒玉秀人・中山迅（1997）理科授業における知的表現の道具としての描画法利用の事例的研究，日本理科教育学会研究紀要，37(3)，pp. 47-56
- ホワイト・ガンストン（1995）子どもの学びを探る—知の多様な表現を基底にした教室をめざして，東洋館出版社
- 山下隆義（2016）イラストで学ぶディープラーニング，講談社
- 松尾豊編（2016）人工知能とは，近代科学社
- 浅川伸一（2015）ディープラーニング，ビッグデータ，機械学習，新曜社
- 松原道男（2017）理科における動画を用いた自由記述課題の自動評価システムの開発，金沢大学人間社会学域学校教育系紀要，9号，pp. 1-7
- 神鷲敏弘他（2015）深層学習，近代科学社
- コホネン, T.（1996）自己組織化マップ，シュプリンガー・フェアラーク東京
- 塩入諭・大町真一郎（2011）画像情報処理工学，朝倉書店
- 岡谷貴之（2015）深層学習，講談社

Development of Systems to Support Evaluation of Observation Sketches in Science Learning

by

Michio MATSUBARA

Kanazawa University

The purpose of this study was to develop systems that supported the evaluation of observation sketches in science learning, also to obtain a teaching suggestion through inferring the viewpoint of observation by the developed systems. The systems were developed by Visual Basic, referring partially to processing methods of deep learning. Also the systems were developed by using self-organizing maps that were already developed in the previous research. The systems with and without filters were developed and compared. Sections of stems and stomas in plants were observed with the microscope by lower secondary school students. They drew observation sketches. The validity of the systems was evaluated by the position of the sketches in the self-organizing maps. As a result, almost 90% of the sketches in the system with the filters were in appropriate position. Therefore, the validity of the systems became clear. In observation, it was suggested that attention should be paid to the contour of structures from the characteristics of the filters.