

絵カードを用いた情報量学習のためのCSアンプラグド教材の提案

中 雅生¹ 津田 康晴¹ 岡村 阿里沙¹ 兼宗 進^{1,a)}

概要: コンピュータサイエンスアンプラグドは、カードや天びんなどのコンピュータ以外の教具を使うことで、情報科学の諸概念を小学生から理解できるように工夫された教育手法である。今回我々は絵カードを用いたゲームを通して平均情報量の概念を学習できる教育教材を作成した。その内容を紹介し、小学生向けの科学イベントで利用した結果を報告する。

キーワード: CS アンプラグド, 情報量, 平均情報量

A New CS Unplugged Activity of Information Entropy using Cards

NAKA MASAO¹ TSUDA YASU HARU¹ OKAMURA ARISA¹ KANEMUNE SUSUMU^{1,a)}

Abstract: CS Unplugged is a collection of learning activities that can teach computer science through games using such a card. We improved the 5th activity about information entropy by picture cards. In this paper, we will introduce the activity, and the result of experiment for elementary school children.

Keywords: CS Unplugged, Computer Science Unplugged, Entropy

1. はじめに

コンピュータサイエンスアンプラグド (以下、CS アンプラグド) [1] は、カードや天びんなどの教具を使うことで、情報科学の諸概念を小学生などの初学者が体験的に理解できるように工夫された教育手法である。

今回は絵カードを用いたゲームを通して情報量の概念を学習できる教育教材を作成した。学習者は複数のカードの中から、相手の選んだカードを質問を通して当てる。このゲームを通して、質問により得られる情報量の違いを観察し、効率のよい質問を試行錯誤することで質問により得られる情報量の違いを学習することができる。

一覧表で提示した絵カードを閲覧する形の対戦方式と、コンピュータのアプリケーション・プログラムでカードを

絞り込んでいく自習方式の2種類の教材を小学生向けの科学イベントで使用した。その結果として、最初から効率のよい質問をできる学習者が存在する割合、絵カードの対戦方式で学習できる割合、アプリケーションで学習することの利点などを報告する。

2. 情報量を扱う教材の提案

2.1 CS アンプラグドにおける情報量の扱い

CS アンプラグド [1] では第5章「二十の扉」で情報量を扱っている。情報量の意味については、次のように説明している。

情報理論における情報量 (選択情報量、自己エントロピー) の定義を示す [2]。P を事象の発生確率とすると、情報量 I は次の式で表すことができる。単位は bit である。

$$I = -\log_2 P$$

たとえば、10 回に 1 回の割合で学校の給食にデザートが付く「お楽しみ給食」の日があるとき、「今日は普通の給食」

¹ 大阪電気通信大学
Osaka Electro-Communication University, Shijonawate, Osaka 575-0063, Japan
^{a)} kanemune@acm.org

コンピュータ科学者は、文章や本にどれだけ驚きがあるかで情報量を測っています。既に知っていること、たとえばいつも歩いて学校に来る子が「きょうは歩いて学校にきたよ」と言ったとすると、これには情報量がありません。びっくりすることではないからです。でも、「きょうはヘリコプターで学校にきたよ」と言ったとしたら、これにはびっくりするでしょう。つまり、多くの情報量をもたらしたということになります。

(留略)

メッセージの持つ情報量は、それを推測するのがやさしいのか難しいのかで測ります。

図 1 CS アンブラグドでの情報量の説明

という情報量は 0.152bit で情報量は高くないが、「今日はお楽しみ給食！」という情報は 3.322bit で情報量が高い。

$$\log_2 0.9 = 0.152(\text{bit})$$

$$\log_2 0.1 = 3.322(\text{bit})$$

このように、大学等で確率や対数を用いた数式で説明される情報量の概念は、CS アンブラグド的な説明をすることで初心者にもわかりやすく説明することが可能になる。

2.2 CS アンブラグドでの平均情報量の扱い

個々の情報に関する情報量のほかに、得られる情報量の平均(平均情報量、エントロピー)を考慮することができる。たとえば、ある質問をしたときに「Yes/No」で得られる2種類の情報 A, B の発生確率が P_A, P_B であるとき、平均情報量 H は次の式で表すことができる。単位は bit である。

$$H = P_A(-\log_2 P_A) + P_B(-\log_2 P_B)$$

図 2 に P_A (または P_B) の発生確率ごとの平均情報量を示す。 P_A が 0 または 1 に近い場合は偏っている場合は発生確率が偏っているため、高い情報量が得られる頻度は低く、平均すると情報量は低い。逆に、確率が 0.5 に近い場合は A, B のどちらになるか予測が難しいため平均すると情報量が大きいことになる。

前節で説明した情報量については、CS アンブラグドでも「質問によって何回で当てられるか」という形で扱われている。人間の直感とも合っている部分が大きく、理解しやすい教材といえる。

一方、平均情報量については CS アンブラグドでは章末の補足説明で簡単に説明されているだけであり、学習活動では扱われていない。そこで今回は、平均情報量を体験的に学習できる CS アンブラグド教材を検討することにした。

3. 平均情報量を学習するカード型教材の設計

CS アンブラグドの理念に沿った教材として、CS アンブラグドのデザインパターンを参考にした。[3]

- 1つの教材は 20 分から 40 分程度で扱える。

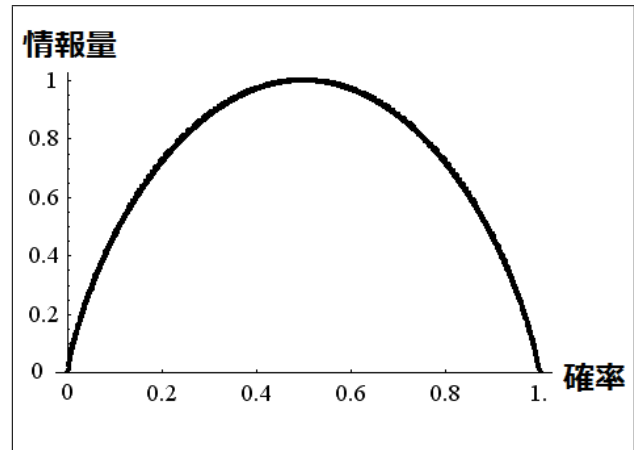


図 2 2つの事柄の平均情報量

- 特別な知識を持たない 7 歳から 15 歳程度の児童生徒が理解できる。
- コンピューター科学に詳しくない先生が教えられる。
- コンピュータ科学の概念を理解できる。
- コンピュータを使わずに扱える。
- 考えながら発見的に学習できる。

平均情報量を学習するためには、質問によって得られる情報量の違いを学習者が実感できることが大切になる。そこで図 3 のような絵カードを用意し、「山にいますか」「パラソルがありますか」のような「Yes/No」で回答できる質問をできるようにした。絵カードは 16 枚程度用意し、人物や物などの出現頻度が異なるように作成した。表 1 に用意した絵カードと質問の対応表を示す。図 4 は作成したカードの例である。

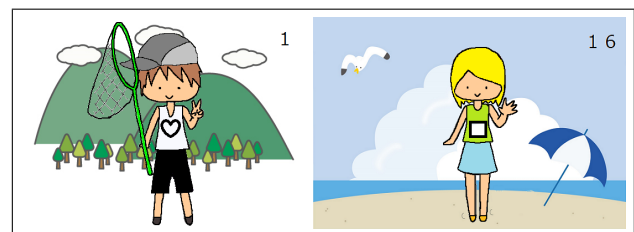


図 3 絵カードの例

学習の流れは CS アンブラグド第 6 章「情報探索」の戦艦ゲームを参考にして、ゲームの形式で学べるようにした。対戦する 2 人がそれぞれ 16 枚から 1 枚ずつカードを選び、質問によって相手のカードを早く当てるゲームである。質問は交互に行い、回答は「はい・いいえ」で行うことをルールとした。

4. カード型教材の評価

2013 年 11 月 3 日に、小学生を対象にした大学の科学イベントで実施した。学習者は 1 人ずつ机に座り、大学生と対戦を行う。絵カードは壁に見やすい大きさに貼ってあり、それを見ながらお互いのカードを当てる。対戦時間は

表 1 用意した質問とカードとの対応

| 質問の内容 | 確率 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 服に四角がありますか？ | 0.19 | | | | ■ | | | | ■ | | | | | | | | ■ |
| 服に三角がありますか？ | 0.25 | | | ■ | | ■ | | | | | | | ■ | ■ | | | |
| 服に丸がありますか？ | 0.25 | | ■ | | | | | ■ | | | ■ | | | | | ■ | |
| カニがいますか？ | 0.25 | | | | ■ | | ■ | | | | ■ | | | | | ■ | |
| 鳥がいますか？ | 0.25 | | ■ | | | | | | | | | | ■ | | ■ | | ■ |
| 服にハートがありますか？ | 0.31 | ■ | | | | | ■ | | | ■ | | ■ | | | | ■ | |
| 傘がありますか？ | 0.31 | | | | | | ■ | | | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ |
| 男の子ですか？ | 0.5 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 女の子ですか？ | 0.5 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 帽子をかぶってますか？ | 0.5 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 手に何かもってますか？ | 0.5 | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | |
| 山にいますか？ | 0.5 | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | |
| 海にいますか？ | 0.5 | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ |



図 4 用意したカードの例

概ね3分間程度であった。図5に学習者に配布した質問表を示す。対戦では学習者が必ず勝つようにし、質問した順序を記入させることで質問回数と質問の戦略を分析できるように工夫した。図6に実験の様子を示す。



図 6 評価実験の様子

学習者の理解度は、高い平均情報量を得られる質問を

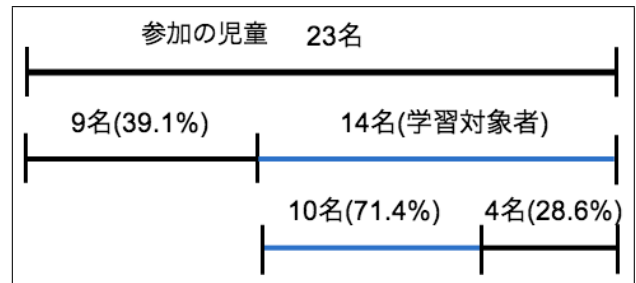


図 7 カード型教材の実験結果

行ったかどうかで判定した。3段階の判定 (○×▲) の基準を示す。「○の質問を2回以上連続して行った」ことで情報量の高い質問を行ったことを判定している。

- 情報量の多い質問。質問の発生確率が0.4から0.6。
- △ 情報量の少ない質問。質問の発生確率が0以上0.4未満または0.6以上1未満。
- × 情報量がゼロの質問。質問の発生確率が0または1。

図7に実験結果を示す。参加した児童23名のうち、最初から高い情報量を得られる質問を理解していた児童は9名(39.1%)いた。残りの14名のうち、カード型教材を体験することで高い情報量の質問をできるようになった児童は10名(71.4%)であった。

被験者の数は多くはないが、およそ7割程度の児童が情報量の高い質問に気づくことを確認できた。

5. アプリケーション教材の設計

考案したカード型教材の内容について、コンピュータ上で学習することができるアプリケーション教材を開発した。カード型教材とは次の違いがある。

- PC上で動作する。Windows、Mac、Linuxなど複数のOSに対応する。
- コンピュータを相手に対戦する。相手が不要である。

あなたの名前 ()

さいしょ 最初にあなたがえらんだばんごう ばんごう
番 号

| あいてのカードのメモ | | | |
|------------|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | |
| 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | |
| 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | | |
| 13 | 14 | 15 | 16 |
| | | | |

| しつもん | じゅんばん 順 番 |
|-------------------|-----------|
| 男の子ですか？ | |
| 女の子ですか？ | |
| 山にいますか？ | |
| 海にいますか？ | |
| 鳥がとんでいますか？ | |
| カニがいますか？ | |
| かさ (パラソル) がありますか？ | |
| ぼうしをかぶっていますか？ | |
| なにか手にもっていますか？ | |
| 服に□がついていますか？ | |
| 服に○がついていますか？ | |
| 服に△がついていますか？ | |
| 服に▽がついていますか？ | |

図 5 配布した質問表

- カードが画面に表示される。質問をするごとに画面上の候補が減る。
- 質問表を使わない。画面に質問ボタンと質問回数を表示し、結果をファイルに記録する。

図 8 に実行画面を示す。初心者が操作を容易に行えるように、マウスによるクリックのみで操作を行えるようにした。

実装はドリトル言語 [4] を用いて開発した。ドリトル言語に表の各種操作を行えるデータベース操作機能を実装し、表 1 に定義した表に対して選択操作を行うことで、質問と結果の集合を扱っている。図 9 に処理の流れを示す。

6. アプリケーション教材の評価

2013 年 11 月 3 日に、小学生を対象にした大学の科学イベントで実施した。図 10 に実験の様子を示す。端末は 8 台用意した。学習者は 1 人ずつ端末に座り、机に置かれたゲームと画面の説明を見ながらアプリケーションを実行する。アプリケーションを実行するたびに、名前を入力してもらい、ゲームの記録とともにログファイルに記録されるようにした。

実験結果を示す。

- 59 人が参加した。
- 13 人 (22.0%) は最初から情報量の多い質問をした。
- よって、学習対象者は残りの 46 人と考えられる。
- 46 人中、1 回目のゲームで情報量の多い質問をできる



図 8 実行画面

ようになったのは 13 人 (28.3%) である。

- 残りの 33 人中、15 人が続けて 2 回目以降のゲームを行った。
- 15 人中、2 回目または 3 回目で情報量の多い質問をできるようになったのは 14 人 (93.3%) である。

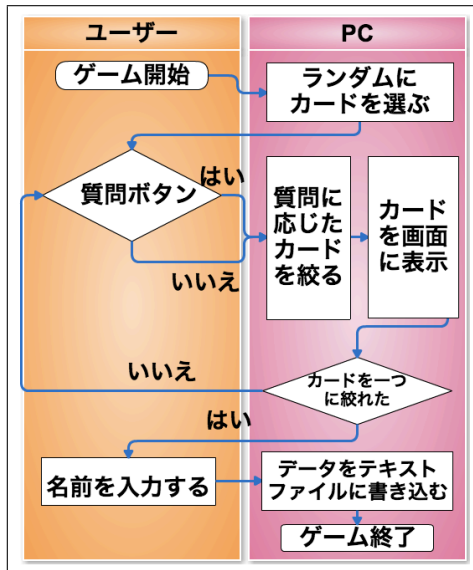


図 9 処理の流れ



図 10 評価実験の様子

この結果から、今回の実験に参加した 59 人の小学生のうち、約 2 割は最初から効率のよい質問をでき、残りの 8 割についても約 3 割は 1 回のゲームで学習し、残りの約 9 割も 2,3 回目のゲームで学習できることを確認できた。

7. 考察

7.1 カード型教材とアプリケーション型教材の比較

同じ科学イベントで実験を行ったカード型教材と比較すると、参加者のうち 2 回以上行った比率は、カード型教材は約 18%なのに比べ、アプリケーション教材は約 37%であり、複数回のゲームを行うことが学習につながる結果を考慮するとアプリケーション化の効果は存在したと判断できる。

ただし、カード型教材では壁にすべてのカードを貼ってあり、質問によって絞られる情報は参加者の頭の中だけに存在しないため、ほとんどの参加者が 1 回しか行わなかった理由は疲労度にある可能性が考えられる。今後は 1 枚 1 枚がバラバラになったカードでも実験を行い、アプリケーションとの比較を行っていきたいと考えている。

7.2 平均情報量と選択情報量の理解

一部の参加者には、平均情報量の高い質問をできるようになった上で、あえて平均情報量の低い質問に移行する行動が見られた。これは、質問回数を減らす上で、確率が 0.5 の質問を行うことで確実に 4 回で当てられるようになるもの (図 11 上のバランスしている木の図)、それ以上減らすことは不可能であることから、あえてリスクのある質問 (図 11 下のバランスしていない木の図) により、何回かに 1 回は 2,3 回で当てることができると考えている。

図 11 に、質問の選択により正解に至るまでの可能性の違いを示す。図の上側は確率が 0.5 の質問を繰り返した例である。質問をするたびに候補が半分に絞られていくこと、すべての候補を同一の回数で当てられること、必ず 4 回で当てられることなどがわかる。図の下側は確率が 0.5 以外の質問を行った例である。候補によっては偶然 2,3 回で当てられることもあるが、候補によっては 8 回の質問が必要であり、平均すると約 5 回の質問が必要になってしまうことがわかる。

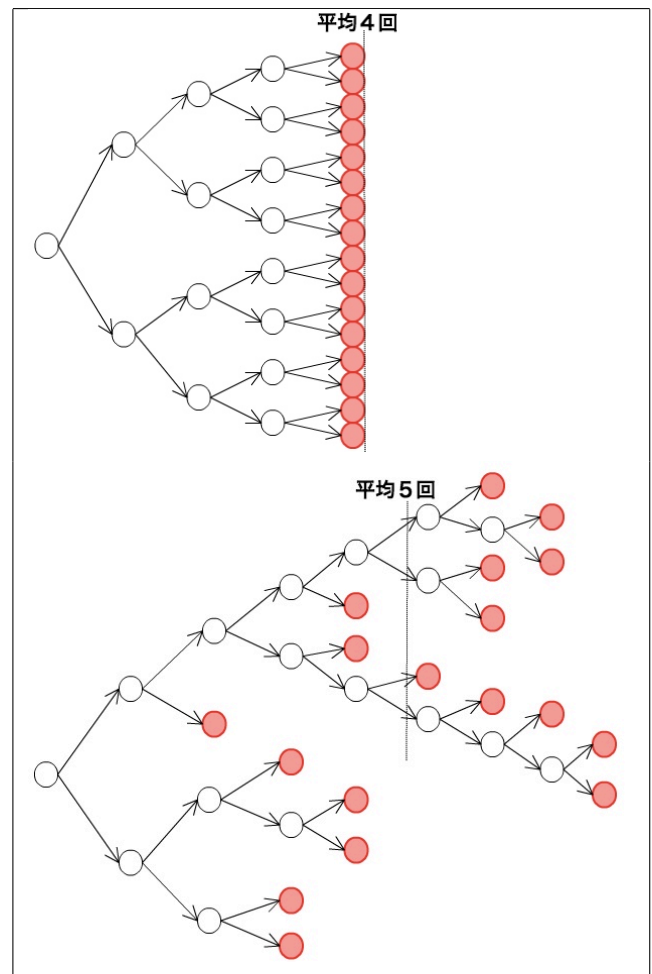


図 11 質問により生成される二分木の例

8. まとめ

CS アンプラグドの第5章「情報理論」を拡張し、選択情報量に加えて平均情報量を学習できる教材を提案した。教材はCS アンプラグド第6章「情報探索」の戦艦ゲームを参考にする事で、質問によって相手のカードを当てる対戦型のゲームにすることができた。

考案した教材をカード型教材とアプリケーション型教材として実現し、それぞれの学習効果を小学生向けの科学イベントで実験した。その結果、参加した小学生の多くは提案した教材を使い、発見的に平均情報量の考え方を学習していることを確認した。特に複数回の体験は重要であり、1回の体験と比較して2,3回の体験により理解度が向上することを確認した。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金（基盤研究（C）25350214）の補助を受けています。

参考文献

- [1] 兼宗進監訳『コンピュータを使わない情報教育』イーテキスト研究所, 2007.
- [2] 高岡詠子『シャノンの情報理論入門』講談社, ブルーバックス, 2012.
- [3] Tomohiro Nishida, Susumu Kanemune, Mitaro Namiki, Yukio Idosaka, Tim Bell, Yasushi Kuno: A CS Unplugged Design Pattern. SIGCSE2009, 2009.
- [4] 兼宗進, 久野靖『ドリトルで学ぶプログラミング』イーテキスト研究所, 2008.