

# 通信経路学習と計算具変遷学習を目的とした 高等学校情報教育教材の開発

菊地 章\*, 井出健治\*\*

近年、コンピュータ関連技術は急速に進歩しており、社会の情報化も加速している。そのため、学校教育においても情報教育が広く浸透しており、高等学校での普通教科「情報」を始めとして高等学校専門学科や小・中学校でも様々な教育内容が採り入れられている。このとき、情報教育はどうしてもインターネット等の最新の情報環境を理想として行われる傾向にあるが、情報技術の変遷を踏まえると、インターネット技術の進歩や計算の工夫のための古代からの計算具の改良を意識させた情報教育も重要となる。そのため、学習指導要領に照らして通信経路学習と計算具変遷学習を検討し、ネットワーク経路図作成、古代からの2進数の概念の計算、九九表の利用、そろばん、計算尺等の各種計算具を含めた高等学校における「情報」と「数学」における情報教育教材を開発する。

[キーワード： 高等学校, 情報科, 情報機器, 教材化]

## 1. はじめに

平成20年12月に新しい高等学校学習指導要領案が公開され、平成21年3月に高等学校学習指導要領が公示された[1]。特に、高等学校普通教科「情報」においては、従来の情報A, B, Cの科目構成が変更となり、基礎基本を重視する「情報A」の内容は「情報C」から移行する「社会と情報」ならびに「情報B」から移行する「情報の科学」に吸収され、全般的に密度の濃い内容の科目構成に進化している。

高等学校における情報教育は、物理的な側面としての「理科」での情報教育、論理的な側面としての「数学」での情報教育、处理的・技術的な側面としての「情報」での情報教育に分化して行われている。これらは互いに関連することが多く、俯瞰的な視点からの情報教育の考察が必要である。また、情報に関わる変遷を意識させた情報教育が必要なことから、本研究では情報環境の発展ならびに計算の工夫を扱う視点から情報教育を捉え、高等学校における情報教育教材化について考察する。特に、「社会と情報」に関連した教材化、「情報の科学」に関連した教材化、「数学」に関連した教材化から情報教育について考察する。

## 2. 高等学校学習指導要領と情報教育

高等学校における情報教育では、普通教科「情報」の中の科目として「社会と情報」ならびに「情報の科

学」があり、専門学科「情報」の中の科目として「情報産業と社会」、「課題研究」、「情報の表現と管理」、「情報と問題解決」、「情報テクノロジー」、「アルゴリズムとプログラム」、「ネットワークシステム」、「データベース」、「情報システム実習」、「情報メディア」、「情報デザイン」、「表現メディアの編集と表現」、「情報コンテンツ実習」がある。これらに加えて、「数学」と「理科」の中でも情報教育が採り入れられている。

情報教育における情報環境の発展や計算の工夫は、普通教科「情報」の中での「社会と情報」や「情報の科学」、専門学科「情報」の中での「情報テクノロジー」、「アルゴリズムとプログラム」、「ネットワークシステム」等に密接に関連している。また、「数学」の教科では、「数学Ⅰ」での数の扱い、「数学Ⅱ」での整式の乗法・除法や指数関数・対数関数、「数学Ⅲ」での指数関数・対数関数の導関数、「数学A」での2進法、「数学活用」での数学と人間とのかかわり等が関連している。また、「理数」の教科では、「理数数学Ⅰ」での指数関数・対数関数の扱いも関連している。さらに、「理科」の教科では、「科学と人間生活」での科学技術の発展、「物理基礎」での電気、「物理」での電気と磁気等が関連している。

これらの中で、新たに科目構成が再編成された「社会と情報」と「情報の科学」の中での情報環境の発展ならびに計算の工夫を扱う題材を考察し、また「数学」全般の中での対数の扱いに関わる教材化について考察する。

\* 鳴門教育大学 大学院 自然・生活系教育部

\*\* 鳴門教育大学 大学院 (修士課程) 教科・領域教育専攻 生活・健康系コース (技術・工業・情報)

### 3. 「社会と情報」に関連した教材化

高等学校における「社会と情報」では情報社会に積極的に参画する態度を育成することを目的としており、(1)情報の活用と表現、(2)情報通信ネットワークとコミュニケーション、(3)情報社会の課題と情報モラル、(4)望ましい情報社会の構築の4項目として内容が構成されている。この中で、インターネットの利用が中核的な内容の一つとなる。

インターネットはネットワークの相互接続であるインターネットワークが省略されて生じた用語であり、現在は地球上のネットワーク網全体の意味で使われることが多い。元々米国で発祥し、1969年より運用されたARPANETから発展した[2]。日本においては1984年からJUNETが構成され、日本におけるインターネットの基盤となった。米国では1980年代に全米科学財団が学術研究用ネットワークであるNFSネットを立ち上げ、高速なバックボーンを有するネットワークとしての中核を成した。1989年にハイパーテキスト機能を持つWorldWideWebシステムが開発され、異なるコンピュータシステム間で情報提供できる礎となった。これが今日の情報検索利用の起源である。

現在ではコンピュータならびにネットワーク通信速度の高速化により、当時は想像できなかった情報セキュリティや情報倫理の問題が生じたため、「社会と情報」は情報社会に関連した幅広い教育内容を含む科目として構成されている。

#### (A) インターネット経路の学習

インターネットを介した情報検索においては、Webブラウザを利用してキーワードを入力し、検索結果から必要な情報を取捨選択する学習形態となる。このとき、自分の発した質問がどのようにインターネット上に流れているかを知ることは、学習者の理解促進に有益となる。

インターネットではTCP/IPプロトコルを利用して固有のIPアドレスを持つコンピュータ間で情報がやり取りされる。このことを学習するために、Linux OSの「traceroute」コマンドまたはWindows OSの「tracert」コマンドが利用できる。

図1はLinux OSでの実験例であり、図2はWindows OSでの実験例である。使用するOSはどちらでも良く、要は経路を理解することが重要となる。なお、FQDN(Fully Qualified Domain Name, 完全修飾ドメイン名)を紹介する必要がある場合はIPアドレスのみを表示する「traceroute -d」コマンドまたは「tracert -n」コマンドが利用できる。

```
% traceroute www.google.co.jp
traceroute to www.google.co.jp (66.249.89. △), 30 hops max,
60 byte packets
 1 160.204.111.111 (160.204.111. △) 0.293 ms 0.275 ms
0.264 ms
 2 sinetgw.naruto-u.ac.jp (160.204.111. △) 0.403 ms
0.573 ms 0.559 ms
 3 matsuyama-dc-rm-ge-7-2-1-105.sinet.ad.jp (150.99.192.
△) 19.977 ms 20.377 ms 20.360 ms
 4 osaka-dc-rm-ge-7-2-0-11.sinet.ad.jp (150.99.203. △)
27.908 ms 27.953 ms 27.917 ms
 5 nagoya-dc-rm-ae-1-11.sinet.ad.jp (150.99.203. △)
31.066 ms 30.966 ms 30.920 ms
 6 tokyo1-dc-rm-ae-1-11.sinet.ad.jp (150.99.203. △)
36.984 ms 36.966 ms 36.929 ms
 7 tyo3-ix1-xge-3-1.sinet.ad.jp (150.99.189. △) 36.864 ms
36.108 ms 36.106 ms
 8 as15169.ix.jpix.ad.jp (210.171.224. △) 36.813 ms
36.373 ms 36.510 ms
 9 209.85.241.68 (209.85.241. △) 37.211 ms 37.611 ms
37.534 ms
10 72.14.236.126 (72.14.236. △) 48.793 ms 45.441 ms
45.419 ms
11 jp-in-f99.google.com (66.249.89. △) 38.060 ms 37.772
ms 37.735 ms
```

図1 Linux OSでの「traceroute」実験例

```
tracert www.google.co.jp
www.l.google.com [66.249.89. △] へのルートをトレースしてい
ます
経由するホップ数は最大 30 です:
 1 <1 ms <1 ms <1 ms 160.204.111. △
 2 <1 ms <1 ms <1 ms sinetgw.naruto-u.ac.jp
[160.204.111. △]
 3 20 ms 20 ms 20 ms matsuyama-dc-rm-ge-7-2-1-105.
sinet.ad.jp [150.99.192. △]
 4 28 ms 28 ms 27 ms osaka-dc-rm-ge-7-2-0-11.
sinet.ad.jp [150.99.203. △]
 5 31 ms 31 ms 30 ms nagoya-dc-rm-ae-1-11.sinet.
ad.jp [150.99.203. △]
 6 36 ms 36 ms 35 ms tokyo1-dc-rm-ae-1-11.sinet.
ad.jp [150.99.203. △]
 7 36 ms 36 ms 36 ms tyo3-ix1-xge-3-1.sinet.ad.jp
[150.99.189. △]
 8 38 ms 55 ms 37 ms AS15169.ix.jpix.ad.jp [210.
171.224. △]
 9 53 ms 37 ms 37 ms 209.85.241. △
10 51 ms 38 ms 51 ms 72.14.236. △
11 37 ms 38 ms 38 ms jp-in-f104.google.com [66.
249.89. △]
トレースを完了しました。
```

図2 Windows OSでの「tracert」実験例

#### (B) 情報伝達経路学習マップの作成

インターネット上での情報伝達がどのような経路で行われているかを図的に調べるために、前述のコマ

ドで調べたIPアドレスの経路をプロットできるように図3の情報伝達経路学習マップを考案した。この図は半径の異なる同心円で構成されており、中心の起点からどのようにコンピュータの経路が採られていくかを描くようにしている。このとき、IPアドレスとして図の上部に示すクラスAからクラスCが用いられるが、描画対象のIPアドレスがクラスAからクラスCのどのクラスかをIPアドレスの値によって識別し、同一ドメイン上のコンピュータは同心円上の点として描くようにして、ドメインへのアクセスがどのように広がっているかを分かるようにしている。図4は複数の実験結果を同じ図面上に描いたもので、最終目的のコンピュータまで何段のドメインを通過して進んでいるかが容易に分かる。

class A 0.0.0.0 - 127.255.255.255  
class B 128.0.0.0 - 191.255.255.255  
class C 192.0.0.0 - 223.255.255.255

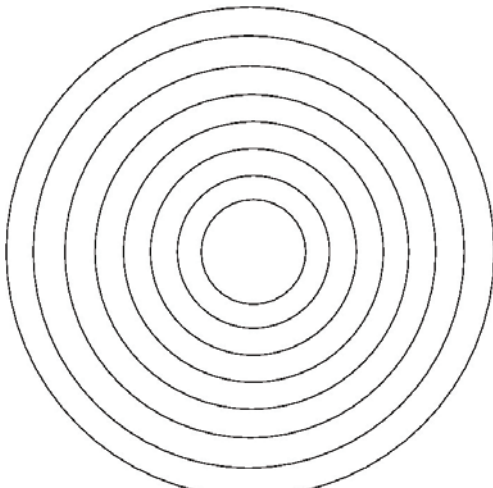


図3 情報伝達経路学習マップ

class A 0.0.0.0 - 127.255.255.255  
class B 128.0.0.0 - 191.255.255.255  
class C 192.0.0.0 - 223.255.255.255

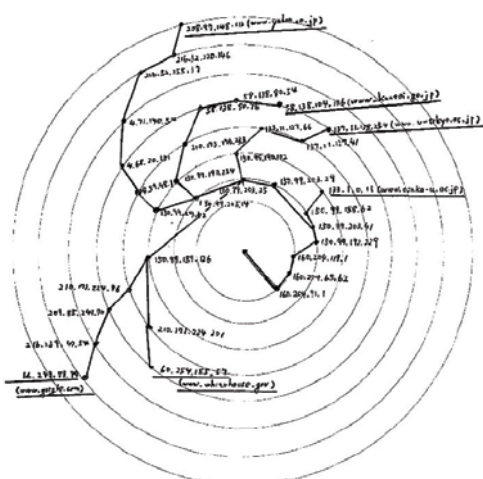


図4 情報伝達経路学習マップの学習事例

実習時間を多く取れない場合は手書きで描く学習形態が採れない可能性がある。その場合には自動的に経路をグラフ化する方法も採用できる。図5はLinux OSで作成したシェルプロシージャ「tracert-graph.sh」であり、処理した結果のグラフを図6に示す。なお、この処理を行うためにはグラフ作成用フリーソフトウェアのgraphvizを事前にインストールしておく必要がある。

これらの事例は情報が移動する観点からインターネットを理解する際の学習に利用でき、情報環境の急速な変化を構造面から学習するために有用となる。

```
% cat ./tracert-graph.sh
#!/bin/sh
echo "graph sample{" > result.dot
for a in "$@"
do
  echo "Here--" >> result.dot
  traceroute -n $a | ¥
  sed -e '1d;s/...//;/s/ .*s/--;/~ ¥*/d' >>
  result.dot
  echo "¥"$a¥";" >> result.dot
done
echo "}" >> result.dot
neato -Tgif ./result.dot -o ./result.gif
display ./result.gif
```

図5 経路自動作図用シェルプロシージャ

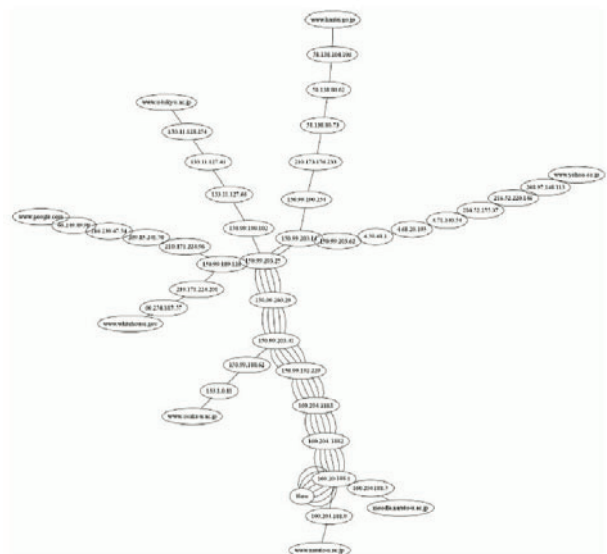


図6 「tracert-graph.sh」による経路自動作図

#### 4. 「情報の科学」に関連した教材化

高等学校における「情報の科学」は、問題解決のための科学的な考え方の習得と情報社会の発展に寄与できる能力の育成を目的としており、「コンピュータと情報通信ネットワーク」、「問題解決とコンピュータの活用」、「情報の管理と問題解決」、「情報技術の進展と情報モラル」の4項目として内容が構成されている。この中で、コンピュータそのものをどのように学習するかが中核となる。

近年のコンピュータの進展には目覚ましいものがあるが、その根本を追求してみると、紀元前の時代からゆっくりと改良されて発展してきた経緯がある[3]-[4]。元々は計算するための道具として発展しており、計算の方法がどのように改良されたかを学習することによって「情報の科学」の学習効果が高まると想像できる。そのため、本節ではヒエログリフ演算、ネイピア棒、改良型ネイピア棒、そろばんについて考察し、「情報の科学」における教材化を試みる。

##### (A) ヒエログリフ演算

ヒエログリフ (Hieroglyph) は広義には象形文字に対応されるが、古代エジプトで使われた文字の意味では聖刻文字や神聖文字とも呼ばれる。エジプト遺跡に多く残っており、エジプトのロゼッタで発掘され現在は英国大英博物館に展示されているロゼッタ・ストーンの文字は19世紀に解読された。古代エジプトで用いられていた数字は、「1」を意味する「|」, 「10」を意味する「𐀀」, 「100」を意味する「𐀀𐀀」等によって表現されていた。

ヒエログリフ数字による計算では、例えば  $23 \times 13$  を計算する場合には、現在のコンピュータで用いられている2進数の考え方が利用されていた。具体的には図7に示すように、23の数表現、加算を利用したその2倍の46の数表現、さらにその2倍の92の数表現、さらにその2倍の184の数表現を次式のように組み合わせることで計算されていた。

$$\begin{aligned} 13 &= 1 + 4 + 8 \\ &= 1 \times 1 + 0 \times 2 + 1 \times 4 + 1 \times 8 \end{aligned}$$

図の最上段では23そのものが表現され、順次2倍の数で表現され、最終的に13を構成する1倍と4倍と8倍の数が加えられ、結果の299が得られるようになっている。このように乗除算のない文化では加減算のみによって計算が行われており、これが現在の機構が簡単な2進数のコンピュータ構成に繋がる土壌ができたことが重要である。

	$23 \times 1$	(採用)
	$23 \times 2$	(不採用)
	$23 \times 4$	(採用)
	$23 \times 8$	(採用)
<hr/>		
	$23 \times 13$	$= 23 \times (8+4+1)$
		$= 299$

図7 古代のヒエログリフ数字による計算

現在の10進数による計算をヒエログリフの数字で表現すると、図8のように1倍、2倍、10倍を利用して計算が行われるが、シフト演算に相当する10倍の表現自体が乗算を利用しており、計算方法自体は高度になっていることが分かる。この点から将来のコンピュータの発達を考えると、将来に亘って2進数の機構が採用され続けるかどうかは議論が分かれ、これらの計算方法の紹介は未来の情報社会を見通す能力の育成にも繋がると思える。

		$23 \times 1$
		$23 \times 2$
	𐀀	$23 \times 10$
<hr/>		
	𐀀	$23 \times 13$
		$= 23 \times (10+2+1)$
		$= 299$

図8 現在の10進数による計算

##### (B) ネイピア棒

英国スコットランド地方生まれの数学者で、対数を発明したことでも知られているJohn Napier (ジョン・ネイピア) は、1617年にRabdologia (棒計算術) を出版し、その中でネイピア棒 (ネイピアの骨) を考案している[5]。

ネイピア棒の特徴は、欧米人には苦手とされる九九表を記載した表を用いていることであり、また裏側には9の補数の九九表が記されていることである。これにより、加算のみで四則演算すべてが行えるようになっている。この九九表が苦手な故に補数を使ったコンピュータの基本原理が生まれたことは、コンピュータ発達史の中で特筆に値する。

その原理は次のようになっている。

- (1) 加算は、頭の中でできると仮定する。
- (2) 減算は、補数を利用して加算で行う。
- (3) 乗算は、九九表を利用して、加算で行う。
- (4) 除算は、9の補数の九九表を利用して加算で商と剰余を計算する。

ネイピア棒を製作する際には、格子（ゲロシア）掛算のための九九表の基本パターンを予め構成しておく必要がある。ネイピア棒は裏側に9の補数の九九表を使う性質上、図9に示すように、10種類の九九表のパターンでネイピア棒を構成すれば、0から9の数値は10本中4本のどれかから選ぶことができる。これに上下の九九の段を表現するために左側に置く1本を加えると、11本の棒で1組のネイピア棒を構成できる。なお、桁数の多い計算の場合は、ネイピア棒の組を複数セット使用すると計算が可能となる。

Napier's Bone  
(ネイピアの骨)

				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	1	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	2	4	6	8	9	0	3	6	9	0
2	2	2	2	0	2	4	6	8	9	0	3	6	9	0	4	8	9	0	4	8	9	0	6	9
3	3	3	3	0	3	6	9	0	4	8	9	0	5	1	0	5	1	0	5	1	0	6	9	0
4	4	4	4	0	4	8	9	0	5	1	0	5	1	0	6	9	0	6	9	0	7	1	0	5
5	5	5	5	0	5	1	0	5	1	0	6	9	0	7	1	0	6	9	0	8	9	0	8	9
6	6	6	6	0	6	9	0	7	1	0	8	9	0	8	9	0	7	1	0	9	0	9	6	8
7	7	7	7	0	7	1	0	8	9	0	8	9	0	9	6	8	7	2	0	9	6	8	7	2
8	8	8	8	0	8	9	0	9	6	8	7	2	0	9	6	8	7	2	0	9	6	8	7	2
9	9	9	9	0	9	6	8	7	2	0	9	6	8	7	2	0	9	6	8	7	2	0	9	6
				8	1	0	9	6	8					7	2	0	9	6	8					

0	3	ε	9	ε	6	0	0	3	ε	9	ε	6	0	0	4	ε	5	ε	0	1	2	ε	7	ε	1
0	3	ε	9	ε	6	0	0	4	ε	5	ε	0	1	2	ε	7	ε	1	1	3	ε	8	ε	0	1
0	3	ε	9	ε	6	0	0	4	ε	5	ε	0	1	3	ε	8	ε	0	1	4	ε	9	ε	7	ε
0	3	ε	9	ε	6	0	0	4	ε	5	ε	0	1	4	ε	9	ε	7	ε	1	5	ε	0	8	ε
0	3	ε	9	ε	6	0	0	4	ε	5	ε	0	1	5	ε	0	8	ε	1	6	ε	9	ε	6	ε
0	3	ε	9	ε	6	0	0	4	ε	5	ε	0	1	6	ε	9	ε	6	ε	2	7	ε	5	ε	1
0	3	ε	9	ε	6	0	0	4	ε	5	ε	0	1	7	ε	6	ε	1	3	ε	8	ε	0	9	ε
0	3	ε	9	ε	6	0	0	4	ε	5	ε	0	1	8	ε	0	9	ε	4	ε	9	ε	7	ε	2
0	3	ε	9	ε	6	0	0	4	ε	5	ε	0	1	9	ε	7	ε	2	0	ε	0	8	ε	1	ε
6	3	0	9	6	9									5	4	0	9	6	9						

1	4	ε	9	ε	7	1	2	3	ε	9	ε	7	1	2	4	ε	9	ε	7	3	4	ε	9	ε	7	
1	4	ε	9	ε	7	1	2	4	ε	9	ε	7	3	4	ε	9	ε	7	3	5	ε	0	8	ε	1	
1	4	ε	9	ε	7	1	2	4	ε	9	ε	7	3	5	ε	0	8	ε	1	4	ε	9	ε	7	4	
1	4	ε	9	ε	7	1	2	4	ε	9	ε	7	3	5	ε	0	8	ε	1	5	ε	1	5	ε	2	
1	4	ε	9	ε	7	1	2	4	ε	9	ε	7	3	5	ε	1	0	5	ε	2	ε	2	ε	3	ε	
1	4	ε	9	ε	7	1	2	4	ε	9	ε	7	3	5	ε	2	ε	3	ε	3	ε	4	ε	9	ε	
1	4	ε	9	ε	7	1	2	4	ε	9	ε	7	3	5	ε	3	ε	4	ε	4	ε	5	ε	0	9	ε
1	4	ε	9	ε	7	1	2	4	ε	9	ε	7	3	5	ε	4	ε	5	ε	5	ε	1	6	ε	0	ε
1	4	ε	9	ε	7	1	2	4	ε	9	ε	7	3	5	ε	5	ε	6	ε	6	ε	2	7	ε	1	ε
5	4	1	8	8	5									3	4	ε	9	ε	7	3	4	ε	9	ε	7	4

図9 ネイピア棒の基本セット

図10は製作したネイピア棒の例であるが、製作し易いように予め木材を短辺1cmと長辺11cmに切り出し、木材を横に並べて物差しで1cm毎の横線を一度に描くことで製作時間を短くできるようにしている。これを使用してネイピア棒で735×14を計算する例を次に挙げる。我々が乗算の計算する際には、九九表を頭の中で描いて、各桁の乗算の結果を各々の桁に沿って書き、最終的にそれらの加算を行って全体の乗算を完成させる。ネイピア棒を使った乗算では、図11に示すように被乗数735に該当するネイピア棒を並べ、一番上の乗数10に相当する段と4段目の乗数4に相当する段の九九表を組み合わせると7350+2940=10290を導出するようになっている。すなわち、加算のみを知っていれば乗算が可能となる。

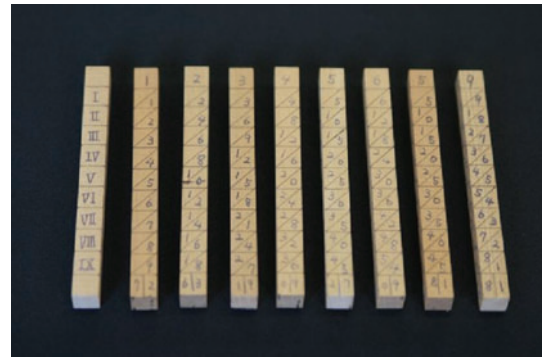


図10 製作したネイピア棒の例

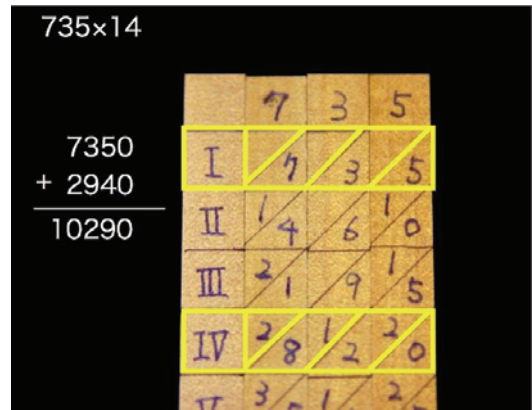


図11 加算による乗算の実行 (753×14)

一方、減算についてのネイピア棒の例は図12に示される。86-31を計算する際は、9の補数を使うと次のように加算のみで計算できる。

$$\begin{aligned}
 86 - 31 &= 86 + (100 - 31) - 100 \\
 &= 86 + (99 - 31) + 1 - 100 \\
 &= 86 + 68 + 1 - 100 \\
 &= 86 + 69 - 100 \\
 &= 155 - 100 \\
 &=> 55
 \end{aligned}$$

この場合のキーポイントはネイピア棒をひっくり返すことであり、31の裏面には9の補数である68が配置されており、それに1を加えると10の補数である69となり、これを元の数の86に加えると155となり、最後に2桁演算としての結果である55が解として求まる。このように、減算が加算で実行できる特長を有している。

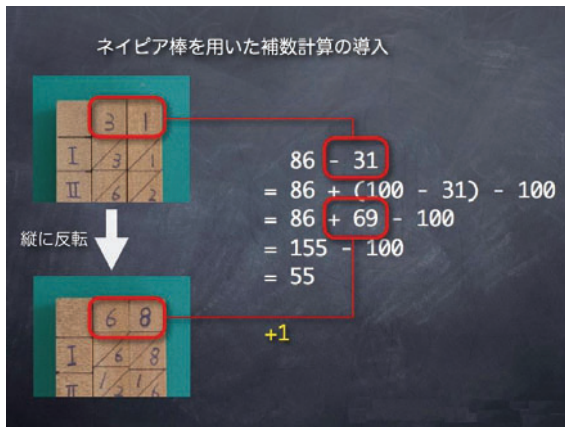


図12 加算による減算の実行 (86-31)

ネイピア棒を利用すると減算、乗算に加えて除算も実行できる。図13は79÷25の計算の際に商と剰余を導く方法を示している。図13の上のネイピア棒では、図5と同じ乗算で25×1、25×2、25×3、25×4と順次計算し、79を超えない範囲での最大の乗数である商として3を求めている。次に25を表示しているネイピア棒をひっくり返し、その補数である74の九九表と商の3を利用して74×3の結果の222を得、さらに商の3を加えて225を算出し、次に79に加えることにより304を得る。最後に、これまでと同様に2桁計算を行っているために末の2桁のみを取り出し、結果としての剰余4を得る。すなわち、次の解が求まる。

$$79 \div 25 = 3 \text{ 余り } 4$$

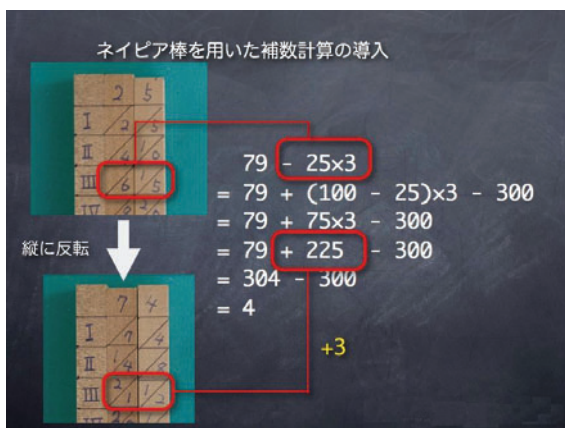


図13 加算による除算の実行 (79÷25)

### (C) ネイピア棒の改良

オリジナルのネイピア棒で乗算を行う際に、乗数が連続でない場合は頭の中で加算の桁を揃える必要があり、熟練を要する。そのため、穴を開けた板を被せる方法でのネイピア棒の改良であるPromptuarium Multiplicationis[3], [6]が開発されている。

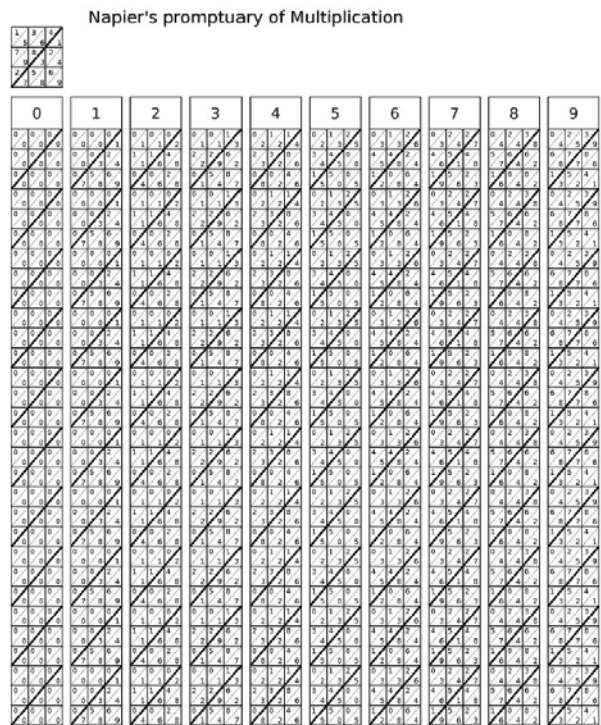


図14 改良型ネイピア棒の土台部分

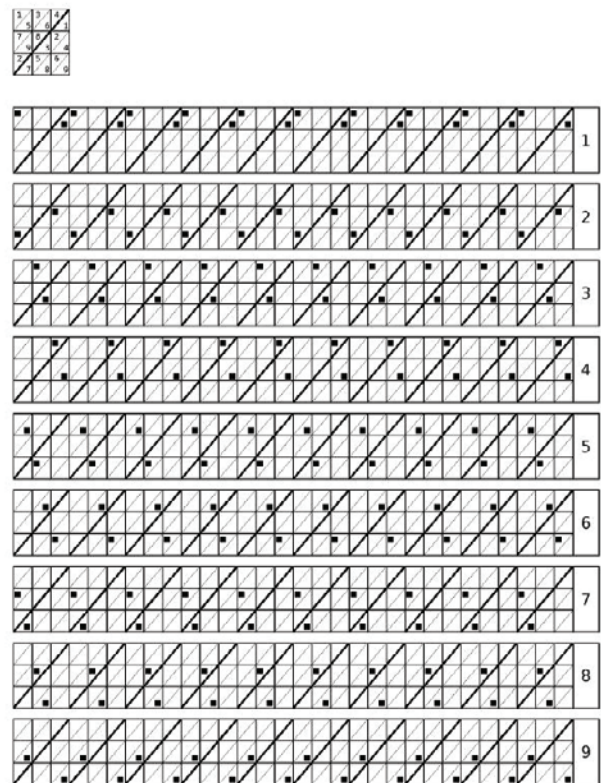


図15 改良型ネイピア棒の窓枠部分

図14は板の上部に書いている数値に関する九九表を表現しており、3×3の升目を右上から左下にかけての斜め線で分断し、左上部分が九九の10の桁の数値を、右下部分が九九の1の桁の数値を乗数に応じて配置している。この被乗数の九九表が描かれている板に該当する位置に窓枠を開けた図15の乗数の板を十字の形で被せると、目的の被乗数と乗算の要素のみが見えるようになる。

図16と図17は図14と図15の印刷物を厚紙に貼り付けて製作した教材の写真で、図18のように使用される。図に示すように、735×14の解として10290が簡単に求まる。

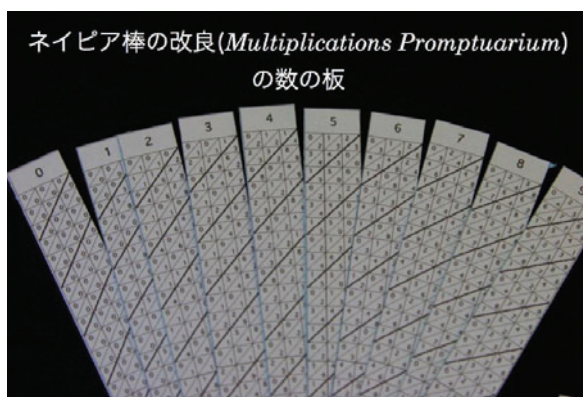


図16 製作した改良型ネイピア棒（土台）

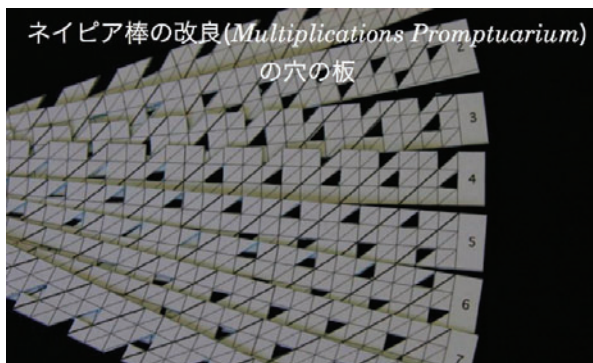


図17 製作した改良型ネイピア棒（窓枠）

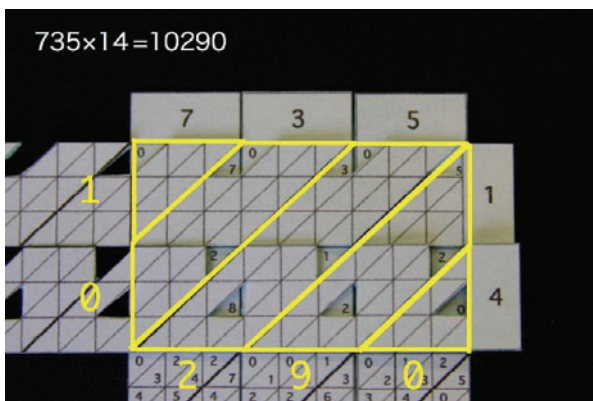


図18 製作した改良型ネイピア棒の使用例

## (D) そろばん

そろばん[7]-[8]は小学校から教育内容に組み入れられており、日本人には馴染みのある道具である。

元々は紀元前に欧州で使用されたアバカス（線そろばん）に端を発しており、ギリシャの碑文博物館に展示されているサラミスのアバカスが代表的である。ローマ時代では溝そろばんと呼ばれる溝の中で丸い石を動かす構造のそろばんが利用された。さらに、中世の頃には、表形式の表記がテーブル（卓）の上にテーブル（表）を描くことにより、ジェットンやジェトーネの計算専用コインとともに用いられていた。

一方、中国においては度量換算の単位系が異なるため、図19と図20に示す上2珠・下5珠の独特のそろばんが開発され、ごく最近まで使用されていた。これは1斤=16両=160匁に関連した16進数の数値を計算するのに都合がよい。この形のそろばんは16世紀頃に日本に伝えられと言われており、その後図21に示す日本独自の上1珠・下5珠のそろばんに改良され、昭和中期まで使用されていた。ただ、1951年の度量衡法の廃止により16進数の計算をする必要がなくなったため、昭和中期以降は図22の左側に示す上1珠・下4珠のそろばんが主流となって今日に至っている。現在の中国では日本のそろばんが逆輸入され、図22の右側に示す上1珠・下4珠のそろばんが用いられている。このように、数値の単位系によって計算の道具が変化していく様子を学習することも重要と思われる。なお、研究室で所有している中国と日本の各種そろばんの大きさを比較するために、図23にそろばん一覧の写真を示す。

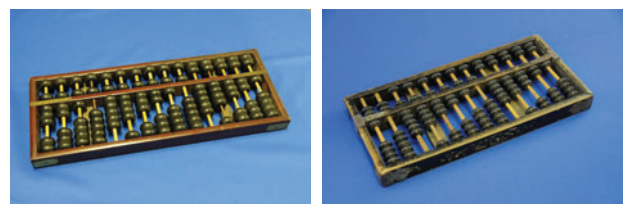


図19 中国の上2珠・下5珠のそろばん



図20 中国の上2珠・下5珠の化粧箱付そろばん

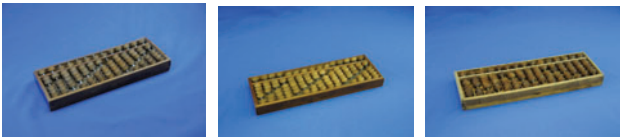


図21 日本の上1珠・下5珠のそろばん



図22 現在の日・中の上1珠・下4珠のそろばん

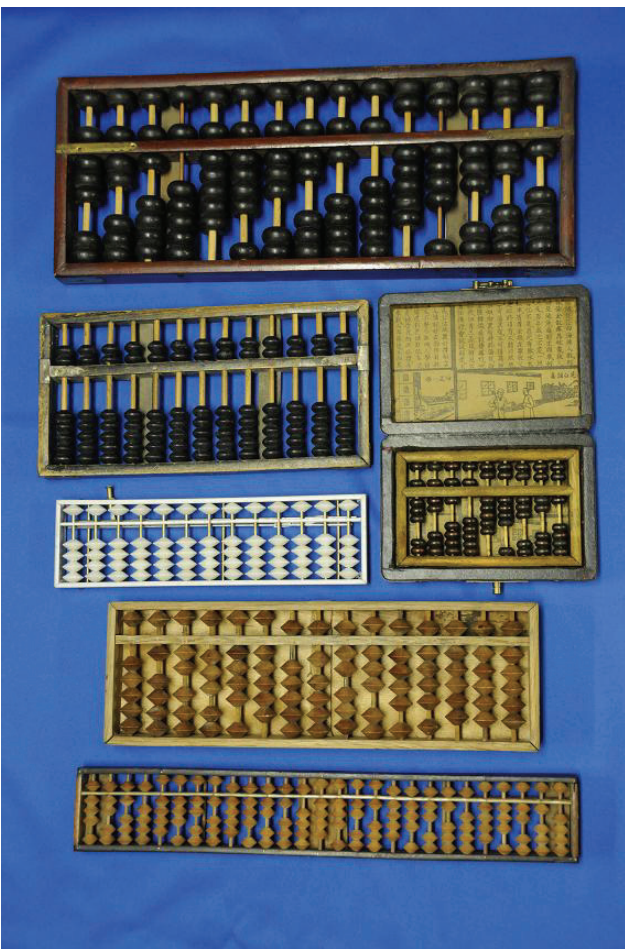


図23 中国と日本の各種そろばんの大きさの比較

## 5. 「数学」に関連した教材化

高等学校での情報教育の内容は「情報」に限らず他の教科でも採り入れられている。「数学」の教科の中では、特に「数学Ⅰ」での数の扱いや「数学Ⅱ」での整式の乗法・除法や指数関数・対数関数が教材

化でき易い。そのため、数の扱いとしての指計算での乗算と対数を理解するための計算尺を採り上げる。

### (A) 指計算での乗算

元来手の10本指を基にして構成された10進数では、10本の指を折ることにより加算が行われ、逆の作業で減算が可能となる。ただ、指を使う方法では乗算を行うことは容易ではなく、種々の方法としてこれまでに工夫されてきた。高等学校で学習の中に取り入れることのできる内容として、指計算での乗算がある。これは、一方の手の5本指と他方の手の5本指を同時に利用するもので、次の方法による[3]。

#### 「指計算の方法」

例えば、 $8 \times 9$ を行う際には、8の5を超えた数の3として左手3本の指を伸ばし他の2本の指は握り、9の5を超えた数の4として右手4本の指を伸ばし他の1本の指を握る。伸ばした指の数3と4の和である7が乗算結果の10の桁を意味し、握った指の数2と1の積が乗算結果の1の桁となる。すなわち結果は72となる。この方法を使うと、九九をすべて覚える必要はなく、単に $1 \times 1$ から $5 \times 5$ までの25種類のみを覚えるだけで1桁同士の数の掛け算ができることになる。

実際、2008年9月に著者の一人が南アフリカ共和国ムプマランガ州の学校を訪問した際に、この方法が紹介されていた。

原理は次の式変形から理解できる。 $m$ と $n$ を5以上9以下の整数とすると、伸ばす指の数は $(m-5)$ と $(n-5)$ であり、握る指の数は $(10-m)$ と $(10-n)$ となる。伸ばす指の数の和と握る指の積を加えると次式となり、計算が正しいことが立証できる。

$$\begin{aligned} & \{(m-5)+(n-5)\} \times 10 + (10-m) \times (10-n) \\ &= 10m + 10n - 100 + 100 - 10m - 10n + mn \\ &= mn \end{aligned}$$

### (b) 計算尺

指計算に加えて「対数」も計算が工夫された典型的な例である。対数はネイピア棒を発明したジョン・ネイピアによって開発され、現在では種々の計算になくってはならない計算法となっている。対数の概念を理解するためには計算尺[9]–[10]の利用が役立つ。対数は指数と関連しているが、計算尺の使用ではスライドを使うことが指数部を扱うことに対応する。計算尺の指数部の理解は、コンピュータ内のレジスタ上の数表現の一つである浮動小数点演算における指数部の概念を理解する上でも重要となる。

図24から図26は実際に計算尺を操作して $2 \times 3 = 6$ を得た結果である。



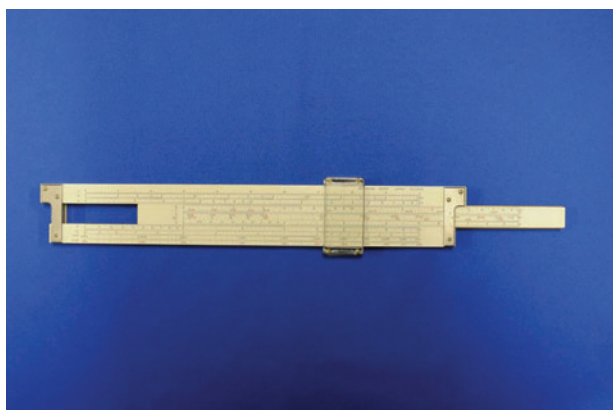


図24 計算尺使用例 (2×3)

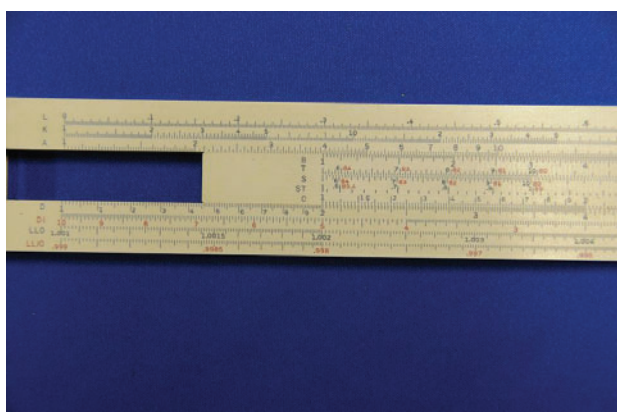


図25 計算尺使用例 (log2の位置合わせ)

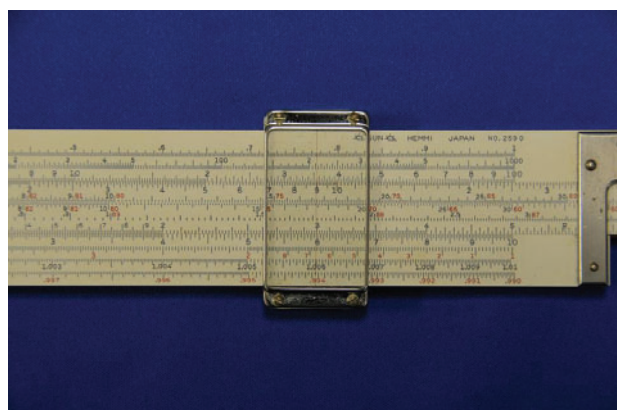


図26 計算尺使用例 (log3の長さを合わせた結果)

現在では計算尺が手に入りにくい状況であるが、計算尺標準パターンのPDFファイル[10]をダウンロードすることにより、手軽に計算尺を製作することができる。図27はアクリル板による製作過程を図示しており、図28が製作した計算尺教材である。計算尺の計算原理は図29のように乗算を対数で行うと加算に帰着できることに起因している。すなわち、 $2 \times 3$ の対数は $\log 2 + \log 3$ であるため、 $\log 2$ の長さ+ $\log 3$ の

長さの和として扱われ、計算尺を使うと対数スケール上の6が得られ、これが乗算 $2 \times 3$ の結果となる。実際に計算尺教材による計算例が図30であり、当然ながら図26の結果と同一である。

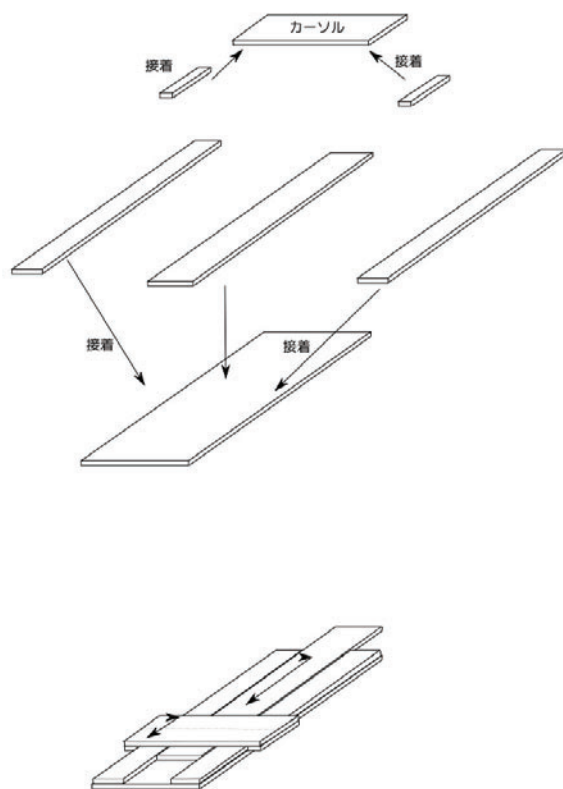


図27 アクリル板による計算尺の製作過程

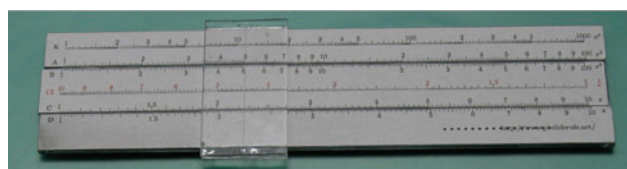


図28 製作した計算尺



図29 計算尺による $2 \times 3$ の原理

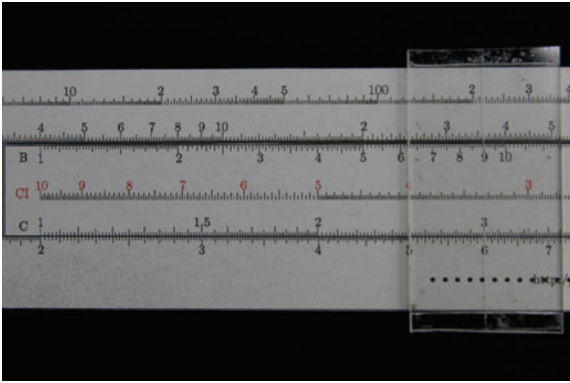


図30 計算尺教材による $2 \times 3$ の計算結果

図31は製作した教材の大きさを比較するための教材一覧の写真を示している。ネイピア棒の長さの11cmを考慮すると、互いの大きさが把握できると思われる。なお、図の右下の四分儀については紙面の都合上説明を省略した。



図31 製作した教材の大きさ比較

## 6. おわりに

高等学校での情報教育教材を考察するために、「社会と情報」の中でのネットワーク経路学習、「情報の科学」の中でのヒエログリフ数字、ネイピア棒、ネイピア棒の改良、そろばん、「数学」の中での指計算と計算尺の利用について考察した。これらの情報教材が高等学校で今後実践されることを期待したい。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、IEEE Computer Society 前会長 Michael R. William 教授、鳴門教育大学坂田興亜名誉教授、伊藤陽介教授、シリプグリ・キラム氏、邢振雷氏、原亮介氏、坂本昌代氏を始めとして様々な方々から情報提供を戴いた。ここに深謝する。

## 参 考 文 献

- [1] 文部科学省：高等学校学習指導要領案，[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/youryou/index.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/index.htm)，2008.
- [2] Computer History Museum：Internet History，[http://www.computerhistory.org/internet\\_history/](http://www.computerhistory.org/internet_history/)
- [3] Michael R. Williams: A History of Computing Technology. Prentice Hall, 1985.
- [4] 菊地，井上淳一：情報技術教育の観点から見た情報機器の変遷，日本産業技術教育学会誌，Vol. 43, No. 1, pp. 53-60, 2001.
- [5] Lynne Gladstone-Millar：John Napier, Logarithm John, National Museum of Scotland Publishing, 2003.
- [6] Computer History Museum：Napier Promptuarium，<http://www.computerhistory.org/collections/accession/102657582>.
- [7] 竹内乙彦：図説そろばん，共立出版，1989.
- [8] 全国珠算学校連盟：そろばんの歴史，<http://shuzan-gakko.com/rekishi/index.html>.
- [9] 計算尺推進委員会：<http://www.pi-sliderule.net/Default.aspx>.
- [10] 計算尺推進委員会：計算尺の作り方，PDFからの作成，計算尺基本パターン，<http://www.pi-sliderule.net/SlideRule/Make/pdf.pdf>.