

情報科学と自然科学の共通概念を学ぶための教材研究

A study of teaching materials for learning the shared concept of information science and natural science

山田 耕太郎・鈴木 盛久

Kotaro YAMADA and Morihisa SUZUKI

“Advancing Physics,” textbooks created by the Institute of Physics, present physics in a variety of contexts, demonstrating its contributions to our society and deep connection with our daily lives. The books skillfully use a diverse range of examples, visual materials and knowledge in fields other than physics. The books utilize, to learn physics, concepts shared by both information sciences and natural sciences. For example, terms such as bit, pixel and information content are introduced early in the course. This paper presents results of examining Advancing Physics as teaching materials in the field of information studies.

概要

英国物理学会が開発した物理のテキスト「Advancing Physics」では、物理学が社会にどのように貢献し、我々の日常生活に根付いているのかを、非常に豊富な事例や図表とともに、物理学の枠を超えた領域の概念を駆使した説明が行なわれている。特に学習の早い段階で情報科学に関する概念を取り入れており、ビットやピクセル、情報量などの用語や説明が物理教育に活かされている。これは情報科学と自然科学との共通概念を通じた学習である。本稿は情報教育の立場からAdvancing Physicsの教材研究を行った結果の報告である。

1. はじめに

筆者が本学で行っている情報教育は、「マルチメディアとは何か?」という問い掛けからスタートしている。マルチメディアには「文字、音声、静止画像、動画などの異なるメディアの統合処理」と「双方向なやり取り(インタラクティブ性)」の2つの意味がある。つまり、異なるメディアもデジタル化によって情報の最小単位であるビットにまで分解すれば、コンピュータの演算処理装置ひとつで様々な加工を施すことが可能となり、ネットワークによって瞬時に情報を移動させ、多様なコミュニケーションを生み出すことができる、という意味である。ここで重要なことは、どのメディアも0と1の二値状態まで落とし込めて、それ以上の分割は不可能という点である。

情報に最小単位(ビット)が存在し、ビットの集まりで形態の異なるメディアを表現し得るという事実は、物質にはそれ以上分割不可能な基本の構成要素が存在しており、その組み合わせや相互作用によって非常に多様な性質が生み出されるという現代科学の自然観そのものである。例えば物理学においては、物質の構成要素である原子の解明(ここでは素粒子まで立ち入らない)と、その集団的振る舞いによって発現する様々な物性が統一的に理解されている。これはビットとメディアの関係に非常に類似している。更に統計力学におけるエントロピーの定義と情報理論における情報量の定義が数式的に一致していることは、物理学と情報科学の強い関連性を示唆している。また生物学においては、DNAの構成要素である塩基がわずか4種類であるにもかかわらず、膨大な

数の塩基配列が生物の多様性を生み出し、複雑な生命現象を維持していることが明らかとなっている。これはビット列が情報としての意味を持ち、その集まりであるプログラムコードがコンピュータシステムを動かすことと類似している。

以上の考察から明らかなように、情報科学と自然科学には共通の概念で理解できる題材が存在している。実際、物理学者であるファインマンは、自然科学者の立場から計算機についての様々な考察を行い、計算機科学のテキストを著している^[1]。また、物理現象を情報教育のカリキュラムに積極的に取り込む試みも行われている^[2]。特に英国物理学会がイギリスの16歳から19歳の学生用テキストとして開発したAdvancing Physics^[3]は、その内容と構成において際立った特徴を有している。特筆すべきは、情報・コミュニケーション技術を物理の重要不可欠な一部として扱っており、情報教育に通じる概念や技術が積極的かつ自然な流れで物理と結び付けられていることである。我々はAdvancing Physicsの原著と邦訳版である「アドバンスング物理」^[4]の内容を調査し、情報教育と理科教育の共通概念を教材化するための研究を行った。

2. Advancing Physicsとは

Advancing Physicsはイギリスの学生用テキストとして開発されたが、紙媒体のテキストのみで完結しているものではない。学習を助け理解を深めるための画像やソフトウェアがCD-ROMによって提供されている。また公式Webサイト^[5]では、研究会の案内や過去の教材の蓄積、技術サポート情報、FAQなどが随時更新されて提供されている。情報機器やインターネットを駆使した、いわゆる「クロスメディア」による教育は現在でこそ珍しくはないが、Advancing Physicsのテキストの出版が2000年であることを考えると、テキストの内容だけでなく、その教授法も非常に先進的であることが分かる。なお、邦訳版には次のような設計思想が記されている。

- 全面的に最新の内容を備え、
- 情報・コミュニケーション技術を物理の重要不可欠な一部として扱い、
- 物理の学習の意味を多様な観点から示すことによって、すべての人々それぞれに役立つ指針を与え、

- 物理という科目について、この科目を学び続けるかどうかに関わりなく、有益な視点を与え、また、あなたが将来選ぶかもしれない他の事柄についての見方も唆し、
- あなたの独自の視点に配慮しながら、創意と興味とを持てるように積極的に勇気づける。

これらの設計思想がどのように具体化されているのかを、テキスト、CD-ROM、公式Webサイトから探り、情報教育の中で使える教材の可能性を考察する。

2-1. テキスト

Advancing Physicsでどのような内容が扱われているのかを見るために、邦訳版「アドバンスング物理」の目次を付録1に示す。なお、ページ番号はここでの議論に必要ないため、省略している。目次の項目一覧を見ただけでも非常に特徴のある内容で構成されていることが分かるが、以下では特に情報教育との関連が強い章の内容を述べる。

1章では、見えないものをいかに可視化するのか、そして可視化によって何が得られるのかが論じられている。物理のテキストであれば、X線やガンマ線、紫外線や赤外線で見えるのか、ということ題材にしそうであり、実際Advancing Physicsでも「宇宙からの画像」でそのような題材を扱っている。しかしテキストで一番最初に採りあげられている画像は、図1に示す胎児の超音波画像である。

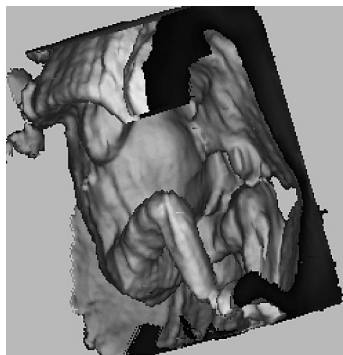


図1 胎児の超音波画像

超音波画像はコンピュータ処理されたデジタル画像であるため、テキストではこの画像を示した後、画像を構成しているものがピクセルであることや、各ピクセルの明暗が数値と対応付けられていることが説明されている。また、ピクセルの大きさと分解能の関係は

論じ、音波で見分けられる大きさの限界を概算で示している。そしてその後、超音波スキャナーの原理を説明する中で振動数や波長などの物理的な話題が登場する。つまり、情報科学の内容から物理の内容へと自然に変化していることが分かる。

一方、「宇宙からの画像」を題材にした項では、電磁波のスペクトルを採りあげた後に、CCD（電荷結合素子）の原理が説明されており、ここでは物理から情報の話題へと繋げていることが分かる。

ここまで見てきただけでも、Advancing Physicsがいかにか情報技術を意識しているのかがよく分かるが、1章の2節では、情報量やビット、画像処理など情報教育で必ず採りあげるテーマを扱っており、更に情報技術の重要性を強調した内容となっている。ビットとバイトの関係および選択肢の数を説明するために、テキストのほぼ1ページ全体を割いて図2が載せられているのであるが、ここで重要なことはビット数と選択肢の数が対数の関係になっていることである。そして対数の関係を理解させたところで音の強度を表すデシベルや、星の明るさを表す等級にも対数が使われてい

るとい物理の説明へと移行している。また画像処理の項では、ノイズの除去やコントラストを強調して画像を鮮明化することが科学的な情報を得るための必要不可欠な技術であることを説明するだけでなく、画像処理のためにピクセルに施される処理の原理までもが紹介されている。

3章は電磁波や偏光といった物理の内容が入っているが、この章ではデジタルやファックス、電子メール、CD、圧縮、サンプリング、2進数、コード化、携帯電話、バンド幅、デジタルテレビなど、日本の物理のテキストではほとんど採りあげられない題材に多くのページが割かれており、情報教育のテキストとしてそのまま使える内容となっている。

ここでは特に情報教育との関連が強い部分をピックアップして物理との関連を見てきたが、情報教育と物理教育の題材や知識が互いに補完し合いながら理解が深まる構成となっていることがよく分かる。そしてもう一つの特徴は、数式がほとんど現れず、様々な図を用いて物理の概念や考え方の説明に多くのページを割いていることである。

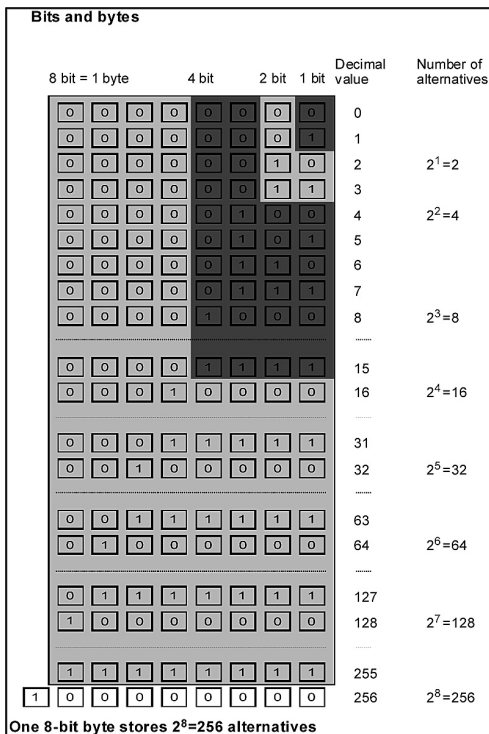


図2 ビットとバイトの説明図

2-2. CD-ROM

Advancing PhysicsのテキストにはCD-ROMとセットで学習を進めるよう指示がされており、テキストに載せられていない図表や、シミュレーション用のソフト、作業用のExcelワークシート、用語集、演習問題、補足説明など多数の教育用コンテンツと、それらを互いに関連付けるためのFolio Viewsと呼ばれる統合学習環境(図3)のインストーラーがCD-ROMに収録されている。

Folio Viewsによってコンテンツの閲覧、検索、Word

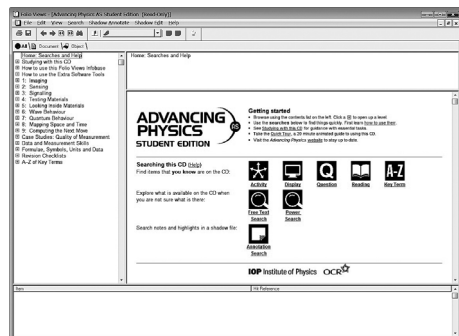


図3 統合学習環境 (Folio Views)

などの外部ファイルへの書き出し、印刷などの学習作業が容易に行えるようになってきているが、具体的な操作方法が音声とアニメーションを使った20分程度のクイックツアーとして収録されている。そのため学習者が使い方や操作に迷うことなくすぐに学習作業に集中できる。ただし学習教材は英語のみで、日本語版はない。

情報教育に使える教材として、画像処理の原理を体験的に学習できるExcelワークシートが収録されている。付録2で示すワークシートが、画像のノイズ除去を体験するためのもので、上段の10×10個のセルをピクセルに見立て、各セルの数値が色の明暗を表わすデジタルデータとなっている。中央のセルのみが周囲と異なる0の値となっており、これがノイズを表わしている。これを周囲のセルの値との算術平均で置き換えることによって、ノイズを取り除くことができる。ワークシートの下段の10×10個のセルでは、0だったセルの値が178となって、周囲の200に近い値に置き換えられて明暗がぼかされた(ノイズを除去した)ことが分かるようになってきている。セルの値は学習者が自由に変更することができるので、作業をしながら理解を深めることができる。付録3は明暗の差を強調して境界のコントラストをはっきりさせる原理を理解するためのワークシートである。ノイズ除去で用いた算術平均を、セルの場所にに応じて値の重みを変えるだけで境界が強調される様子を理解することができる。

2-3. 公式Webサイト

公式Webサイトでは、テキストの更新情報や教材・資料の公開、技術サポートに関する質問集、研究会や公開講座の案内などが随時更新され、Advancing Physicsの学習ポータルサイトとして機能している。教材や資料はユーザーが投稿することが可能で、他のユーザーによる指導案やパワーポイントなどを通じて授業実践に関する情報の共有が可能である。

3. 情報教育に活かすには

これまで見てきたように、Advancing Physicsでは物理の概念や考え方を提示するのはもちろんであるが、情報科学の概念や考え方、方法などを積極的に取り入れて理解を促す構成となっている。このような構成が可能なのは、物理(自然科学)と情報科学の概念

や考え方に共通点が多いためである。これらの共通点を一言で表現すると「科学的なモノの見方」や「科学的な考え方」ということになる。

科学的なモノの見方や考え方の重要性は言うまでもないが、日本の教育現場ではその重要性を踏まえた児童・生徒の育成が十分に行われているとは言い難い。

例えば科学技術振興機構と国立教育政策研究所が実施した「平成20年度小学校理科教育実態調査」^[6]によれば、学級担任として理科を教える教員の約5割が、理科の指導を「苦手」または「やや苦手」と感じており、特に教職指導年数が10年未満の若手教員に限ると、その割合が6割を超えるという実態が明らかとなっている。

また情報教育の分野では、コンピュータ教育開発センターが平成21年度に実施した「高等学校等における情報教育の実態に関する調査研究」^[7]がある。この調査報告によると、「情報の科学的な理解・問題解決」に分類される「コンピュータによる計測・制御」や「モデル化とシミュレーション」の指導に自信が「ない」と答えた教員はそれぞれ51.0%と43.7%にのぼっており、指導に不安を覚えている教員の実態が明らかとなっている。

このような状況の中、平成21年3月、高等学校学習指導要領が改訂、公示された^[8]。この改定で注目すべきは、普通教科「情報」の科目構成が「情報A」「情報B」「情報C」の3科目から「社会と情報」及び「情報の科学」の2科目に統合され、社会の情報化の進展に主体的に対応できる能力と態度を育成することが目指されている点である。特に「情報の科学」では、「情報と情報技術を問題の発見と解決に効果的に活用するための科学的な考え方の習得」も目標として掲げられており、情報と情報機器を適切に活用する学習活動だけでなく、そのために必要となる科学的な考え方を身に付ける学習活動が重視されている。その際に、Advancing Physicsのような学習内容とリンクさせることで、情報教育と科学教育を行き来するような、より効果的な学びにつながる可能性があると考えられる。しかしそれと同時に、教員の苦手意識の低減や自信の向上がこれまで以上に強く求められることは言うまでもない。

4. おわりに

情報科学と自然科学の間には概念的な類似点が多く存在することを指摘し、情報教育の中で自然科学の概

念と結びつく教材の考察を行った。

英国物理学会によって開発されたAdvancing Physicsは、情報技術の重要性を前面に押し出した内容となっている。しかも情報技術の話題を例え話や物理を説明するための方便として使うのではなく、情報技術の基礎となっている情報科学の内容をもきっちりと理解した上で学習を進めるような工夫が施されている。それはAdvancing Physicsの設計思想である「物理の学習の意味を多様な観点から示すことによって、すべての人々それぞれに役立つ指針を与え」「物理という科目について、この科目を学び続けるかどうかに関わりなく、有益な視点を与え、また、あなたが将来選ぶかもしれない他の事柄についての見方も示唆する」ことを具現化したものと捉えることができる。そしてその具現化の具体例が、ビットとバイトを説明するための図表であり、画像処理を体験的に理解するためのExcelワークシートであると言うことができる。

Advancing Physicsの設計思想は物理に固有のものではなく、「物理」を「情報」と読み替えてもその価値は全く失われない。日本の高等学校では普通教科「情報」において「情報の科学」が科目設定されているが、このような科目でAdvancing Physicsのような内容を積極的に取り込み、学習の意味や視点を広げる取り組みができれば、効果的な授業が展開できるかもしれない。また本学での情報教育も同様であり、本研究で得られた知見をどのように活用するのが今後の課題である。

謝辞

本研究は平成21年度比治山大学共同研究助成の補助を受けて行ったものである。

参考文献

- [1] ファインマン・A.ヘイ・R.アレン(1999). ファインマン計算機科学 原康夫・中山健・松田和典(訳) 岩波書店
- [2] 後藤貴裕・浜野文子・鎌田夏・河野真也・宮寺庸造・横山節雄・植野美穂・中村直人(1998). 物理現象を題材とした情報教育カリキュラム 信学技報, ET98-82, 75-82.

- [3] J.Ogborn, R.Marshall(2000). Advancing Physics AS Institute of Physics Publishing.
- [4] J.オグボーン・M.ホワイトハウス(編) 笠耐・西川恭治・寛具博義(監訳)(2004). アドバンスング物理ー新しい物理入門ー シュプリンガー・フェアラーク東京
- [5] Advancing Physics 公式Webサイト <http://www.advancingphysics.org/>
- [6] 科学技術振興機構・国立教育政策研究所(2008). 平成20年度小学校理科教育実態調査
- [7] コンピュータ教育開発センター(2009). 高等学校等における情報教育の実態に関する調査研究
- [8] 文部科学省(2009). 高等学校学習指導要領解説

<キーワード>

情報教育・科学教育・Advancing Physics・物理・情報

山田耕太郎(マスコミュニケーション学科)

鈴木 盛久(子ども発達教育学科)

(2012.10.31 受理)

付録1

1章 イメージング

1.1 見えないものを見る

- 超音波画像による胎児の診断
- 分解能
- 超音波でスキャンした画像をつくる
- 宇宙からの画像
- 空のスパイ
- 原子を「見る」
- 知性の目で見える画像

1.2 画像の中の情報

- バイト
- 情報量
- 画像処理

1.3 あなたの目と共に

- 暗い所での見方
- 網膜は「考える」
- 像をつくるように光を方向づける
- レンズの働き
- 像をつくる
- レンズが光をいかに方向づけるかの公式
- レンズを通るとの経路でも光が象に達するまでの時間は同じ
- 話を簡単にするために

2章 センサー

2.1 非常に小さなものを作る

- 運動するイオンのビーム
- 電位差
- イオンビームのエネルギーと電力

2.2 小型回路

- 導体の中を動く電荷
- 荷電粒子を動かす
- 電位差がどれだけの電流をもたらすか
- 言葉は重要
- マイクロチップは熱くなる
- 導体を接続する

2.3 電位差の測定と制御

- ラジオとハイファイ
- 自動車の燃料ゲージ
- 非線形の変化：目盛りの較正

- 測定結果はゆらぐ

2.4 センサーとわれわれの感覚

- 電子の耳
- 電子の皮膚
- 出力信号を得る
- 電子の目
- 光伝導センサー
- 応答時間
- 電子の鼻
- 熱を感知する
- ひずみ計
- センサーから出力を得ること
- センサーの内部抵抗
- 電位分割器で微小変化を検出すること
- ブリッジから増幅器へ

2.5 良いセンサーを作る

- 分解能
- 感度
- 応答時間
- 雑音，ランダムな誤差，ゆらぎ
- 系統的誤差
- データの処理
- 創造的発明：位置と変位を感知する

3章 信号を送る

3.1 デジタル革命と距離の消失

- デジタルへ進む：ファックスと電子メール
- デジタル音楽
- デジタル化された音
- サンプリング
- 2進数コード化
- さらなるコード化
- デジタルの未来

3.2 電磁波で信号を送る

- 偏光
- 信号の中には何があるか
- たくさんの信号を同時に送る
- 電波送信の余地
- デジタルテレビ

4章 材料をテストする

4.1 おあつらえむきのもの

- 超伝導体
- 繊維 — 補強されたポリマー
- 光ファイバー
- ダイヤモンド
- イチイ材
- シリコンの太陽電池
- 古い骨
- 骨格の材料
- 強靱な道具
- 堅くてもろい骨

4.2 よりよい建物

- 木の家
- 高層ビル
- 建物の材料の選択
- クモの巣と鋼鉄
- 地震に耐える
- 壊れるガラス、伸びる鋼鉄
- 着用のための木材

4.3 クリスタルは透明か

- さて、ガラスは見えるか
- 純度について考える
- スマート材料

4.4 非常に良い伝導—非常に悪い伝導

- 材料と人工物

5章 物質の内部を探る

5.1 顕微鏡で見る物質

- 整列、整列
- 見ることができる結晶、見ることができない結晶

5.2 はっきり見えること

- 堅い材料、強靱な材料
- 強固さと強靱さ

5.3 物質をさらに作る

- お口の中にチョット
- 純粋な金属と合金
- セラミック、見なれたもの、見なれないもの
- 致命的な欠陥
- 繊維と織物、ポリマーとプラスチック
- ゴムを制御する
- シリープティ—跳ねたり流れたり

5.4 伝導性を制御する

- 情報時代の誕生
- ドーピングと電子機器

6章 波の振る舞い

6.1 美しい色、すばらしい音

- 重ね合わせ：波を互に加え合わせて
- 位相の違い
- 油とシャボン玉の膜の色
- より多くがより少ないになることもある
- 定常波が音楽をつくる

6.2 光とはなにか

- 光についての初期の考え
- 時代に先がけて：オーレ・レーマーと光の速さ
- ニュートンは光を粒子と考えた
- ホイヘンスは波をイメージした
- エーテルという物質
- ホイヘンスの素元波
- ホイヘンスは何を成し遂げたか

6.3 光の振る舞いが細かいところまで理解された

- トーマス・ヤングが波動説を復活させた
- 回折格子とスペクトル

6.4 この先の展望

- 穴から広がった波
- 器具の解像度
- 解体された思考

7章 量子的振る舞い

7.1 量子的振る舞い

- 光はかたまりとして不規則に到達する
- 振動数と量子エネルギー
- 波動の計算は取り入れて、波については忘れよう
- 光子の量子的振る舞い

7.2 「多くの経路」の実例

- 鏡の世界を見る
- 最小時間 平らな谷底
- 屈折 速く進むところと遅く進むところ
- まっすぐ見る
- 光子の経路を用いた工学技術
- より少ないことからより多くを得る
- 本当にあらゆるところを通る

7.3 電子も同じことをする

- 電子の矢は、どのくらい速く回転するのか

7.4 これらすべてはどういう意味だろう

- ショッキングか否か
- 波か粒子か

- エネルギーの変換

- バリへの旅行：高速列車へ電力を供給する

- 現代のガリレオ

8章 空間と時間の地図を作る

8.1 旅

- 交通
- 速さ
- 瞬間の速さと平均の速さ
- 速さと時間のグラフ

8.2 地図とベクトル

- ベクトルの分解
- スコットランドでスキーをする

8.3 速度

- 速度の加法
- 速度の成分
- どこにでもあるベクトル

9章 次の運動を計算する

9.1 次の瞬間、動きはどうなるか

- どのようにしてボールをつかむか
- 航空管制
- 警告！ 衝突コース
- 低速での相対性
- コウモリと天文学者

9.2 速度を上げる、速度を下げる

- 交通違反を検証する
- 論理で未来を予測する
- 実際に役立つ運動学の公式
- グラフを使ったモデル化および推測
- 自由落下
- ボールゲーム、放物体と放物線

9.3 力、質量、重力

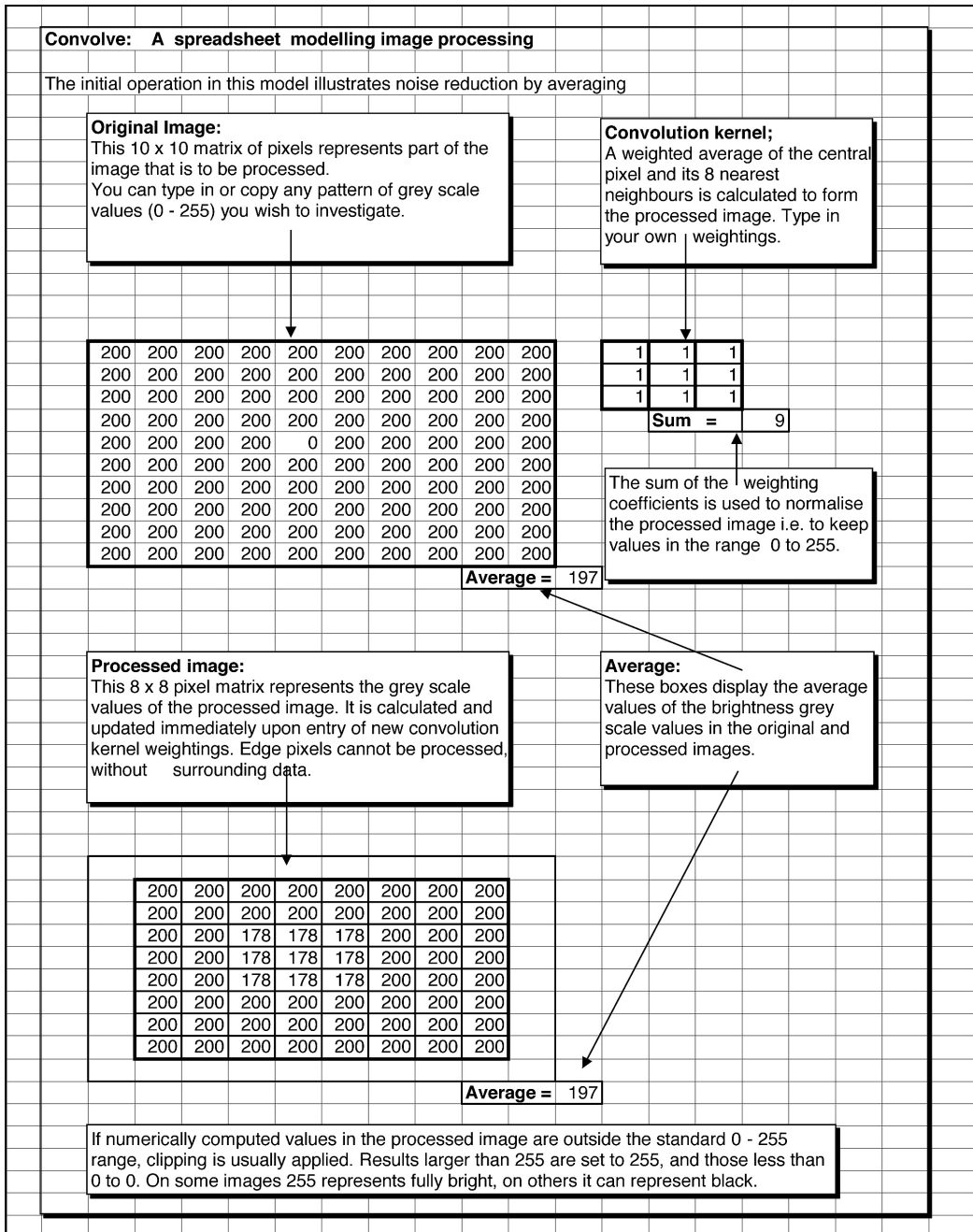
- 短距離走のスタート
- 質量と重量：地球上と月面上
- 重力場
- 力は速度を変化させる

9.4 交通工学

- なぜ力×変位なのか
- 線路の傾きを設計する

付録 2

convolve noise



付録 3

convolvedge

Convolve: A spreadsheet modelling image processing convolutions

The initial convolution operation in this model illustrates Laplace edge detection

Original Image:
This 10 x 10 matrix of pixels represents part of the image that is to be processed. You can type in or copy any pattern of grey scale values (0 - 255) you wish to investigate.

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |

Average = 150

Convolution kernel;
A weighted average of the central pixel and its 8 nearest neighbours is calculated to form the processed image. Type in your own weightings.

| | | |
|----|----|----|
| 0 | -1 | 0 |
| -1 | 4 | -1 |
| 0 | -1 | 0 |

Sum = 0

The sum of the weighting coefficients is used to normalise the processed image i.e. to keep values in the range 0 to 255.

Processed image:
This 8 x 8 pixel matrix represents the grey scale values of the processed image. It is calculated and updated immediately upon entry of new convolution kernel weightings. Edge pixels cannot be processed, without surrounding data.

| | | | | | | | |
|---|---|---|------|-----|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | -100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | -100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | -100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | -100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | -100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | -100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | -100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | -100 | 100 | 0 | 0 | 0 |

Average = 0

Average:
These boxes display the average values of the brightness grey scale values in the original and processed images.

If numerically computed values in the processed image are outside the standard 0 - 255 range, clipping is usually applied. Results larger than 255 are set to 255, and those less than 0 to 0. On some images 255 represents fully bright, on others it can represent black.