メディア学大系

17

メディアのための物　理

コンテンツ制作に使える理論と実践

大淵 康成
柿本 正憲
椿　 郁子
共著

コロナ社

メディア学大系 編集委員会

監　修

〈第 1 期〉

相 川 清 明（元東京工科大学，工学博士）
飯 田　　仁（元東京工科大学，博士（工学））

〈第 2 期〉

相 川 清 明（元東京工科大学，工学博士）
近 藤 邦 雄（東京工科大学，工学博士）

〈第 3 期〉

大 淵 康 成（東京工科大学，博士（情報理工学））
柿 本 正 憲（東京工科大学，博士（情報理工学））

編集委員

稲 葉 竹 俊（東京工科大学）
榎 本 美 香（東京工科大学，博士（学術））
太 田 高 志（東京工科大学，博士（工学））
大 山 昌 彦（東京工科大学）
菊 池　　司（東京工科大学，博士（工学））
榊　　俊 吾（東京工科大学，博士（社会情報学））
佐々木 和郎（東京工科大学）
進 藤 美 希（東京工科大学，博士（経営管理））
寺 澤 卓 也（東京工科大学，博士（工学））
藤 澤 公 也（東京工科大学，博士（政策・メディア））
松 永 信 介（東京工科大学，博士（理学））
三 上 浩 司（東京工科大学，博士（政策・メディア））

（五十音順，2020 年 1 月現在）

「メディア学大系」刊行に寄せて

ラテン語の“メディア（中間・仲立ち）”という言葉は，16 世紀後期の社会で使われ始め，20 世紀前期には人間のコミュニケーションを助ける新聞・雑誌・ラジオ・テレビが代表する“マスメディア”を意味するようになった。また，20 世紀後期の情報通信技術の著しい発展によってメディアは社会変革の原動力に不可欠な存在までに押し上げられた。著名なメディア論者マーシャル・マクルーハンは彼の著書『メディア論―人間の拡張の諸相』（栗原・河本訳，みすず書房，1987 年）のなかで，“メディアは人間の外部環境のすべてで，人間拡張の技術であり，われわれのすみからすみまで変えてしまう。人類の歴史はメディアの交替の歴史ともいえ，メディアの作用に関する知識なしには，社会と文化の変動を理解することはできない”と示唆している。

このように未来社会におけるメディアの発展とその重要な役割は多くの学者が指摘するところであるが，大学教育の対象としての「メディア学」の体系化は進んでいない。東京工科大学は理工系の大学であるが，その特色を活かしてメディア学の一端を学部レベルで教育・研究する学部を創設することを検討し，1999 年 4 月世に先駆けて「メディア学部」を開設した。ここでいう，メディアとは「人間の意思や感情の創出・表現・認識・知覚・理解・記憶・伝達・利用といった人間の知的コミュニケーションの基本的な機能を支援し，助長する媒体あるいは手段」と広義にとらえている。このような多様かつ進化する高度な学術対象を取り扱うためには，従来の個別学問だけで対応することは困難で，諸学問横断的なアプローチが必須と考え，学部内に専門的な科目群（コア）を設けた。その一つ目はメディアの高度な機能と未来のメディアを開拓するための工学的な領域「メディア技術コア」，二つ目は意思・感情の豊かな表現力と秘められた発想力の発掘を目指す芸術学的な領域「メディア表現コ

ア」，三つ目は新しい社会メディアシステムの開発ならびに健全で快適な社会の創造に寄与する人文社会学的な領域「メディア環境コア」である。

「文・理・芸」融合のメディア学部は創立から 13 年の間，メディア学の体系化に試行錯誤の連続であったが，その経験を通して，メディア学は 21 世紀の学術・産業・社会・生活のあらゆる面に計り知れない大きなインパクトを与え，学問分野でも重要な位置を占めることを知った。また，メディアに関する学術的な基礎を確立する見通しもつき，歴年の願いであった「メディア学大系」の教科書シリーズ全 10 巻を刊行することになった。

2016 年，メディア学の普及と進歩は目覚ましく，「メディア学大系」もさらに増強が必要になった。この度，視聴覚情報の新たな取り扱いの進歩に対応するため，さらに 5 巻を刊行することにした。

2017 年に至り，メディアの高度化に伴い，それを支える基礎学問の充実が必要になった。そこで，数学，物理，アルゴリズム，データ解析の分野において，メディア学全体の基礎となる教科書 4 巻を刊行することにした。メディア学に直結した視点で執筆し，理解しやすいように心がけている。また，発展を続けるメディア分野に対応するため，さらに「メディア学大系」を充実させることを計画している。

この「メディア学大系」の教科書シリーズは，特にメディア技術・メディア芸術・メディア環境に興味をもつ学生には基礎的な教科書になり，メディアエキスパートを志す諸氏には本格的なメディア学への橋渡しの役割を果たすと確信している。この教科書シリーズを通して「メディア学」という新しい学問の台頭を感じとっていただければ幸いである。

2020 年 1 月

東京工科大学
メディア学部　初代学部長
前学長

相磯秀夫

「メディア学大系」の使い方

メディア学は，工学・社会科学・芸術などの幅広い分野を包摂する学問である。これらの分野を，情報技術を用いた人から人への情報伝達という観点で横断的に捉えることで，メディア学という学問の独自性が生まれる。「メディア学大系」では，こうしたメディア学の視座を保ちつつ，各分野の特徴に応じた分冊を提供している。

第1巻『改訂メディア学入門』では，技術・表現・環境という言葉で表されるメディアの特徴から，メディア学の全体像を概観し，さらなる学びへの道筋を示している。

第2巻『CGとゲームの技術』，第3巻『コンテンツクリエーション』は，ゲームやアニメ，CGなどのコンテンツの創作分野に関連した内容となっている。

第4巻『マルチモーダルインタラクション』，第5巻『人とコンピュータの関わり』は，インタラクティブな情報伝達の仕組みを扱う分野である。

第6巻『教育メディア』，第7巻『コミュニティメディア』は，社会におけるメディアの役割と，その活用方法について解説している。

第8巻『ICTビジネス』，第9巻『ミュージックメディア』は，産業におけるメディア活用に着目し，経済的な視点も加えたメディア論である。

第10巻『メディアICT（改訂版）』は，ここまでに紹介した各分野を扱う際に必要となるICT技術を整理し，情報科学とネットワークに関する基本的なリテラシーを身に付けるための内容を網羅している。

第2期の第11巻～第15巻は，メディア学で扱う情報伝達手段の中でも，視聴覚に関わるものに重点を置き，さらに具体的な内容に踏み込んで書かれている。

第11巻『CGによるシミュレーションと可視化』，第12巻『CG数理の基礎』

では，視覚メディアとしてのコンピュータグラフィックスについて，より詳しく学ぶことができる。

第 13 巻『音声音響インタフェース実践』は，聴覚メディアとしての音の処理技術について，応用にまで踏み込んだ内容となっている。

第 14 巻『クリエイターのための 映像表現技法』，第 15 巻『視聴覚メディア』では，視覚と聴覚とを統合的に扱いながら，効果的な情報伝達についての解説を行う。

第 3 期の第 16 巻～第 19 巻は，メディア学を学ぶうえでの道具となる学問について，必要十分な内容をまとめている。

第 16 巻『メディアのための数学』，第 17 巻『メディアのための物理』は，文系の学生でもこれだけは知っておいて欲しいという内容を整理したものである。

第 18 巻『メディアのためのアルゴリズム』，第 19 巻『メディアのためのデータ解析』では，情報工学の基本的な内容を，メディア学での活用という観点で解説する。

各巻の構成内容は，大学における講義 2 単位に相当する学習を想定して書かれている。各章の内容を身に付けた後には，演習問題を通じて学修成果を確認し，参考文献を活用してさらに高度な内容の学習へと進んでもらいたい。

メディア学の分野は日進月歩で，毎日のように新しい技術が話題となっている。しかし，それらの技術が長年の学問的蓄積のうえに成立しているということも忘れてはいけない。「メディア学大系」では，そうした蓄積を丁寧に描きながら，最新の成果も取り込んでいくことを目指している。そのため，各分野の基礎的内容についての教育経験を持ち，なおかつ最新の技術動向についても把握している第一線の執筆者を選び，執筆をお願いした。本シリーズが，メディア学を志す人たちにとっての学びの出発点となることを期待するものである。

2022 年 1 月

柿本正憲
大淵康成

まえがき

メディアの中の世界は，現実世界から自由であると同時に，束縛も受けている。人間が宙に浮くアニメや，エネルギーが無尽蔵に作られるゲームを作るのは作者の自由だが，そこには「非現実的だ」という批判がつねに伴う。なにが現実的で，なにが非現実的であるかを知るためには，現実世界を説明する理論を知っておく必要がある。そして，そのような理論こそが物理学である。

本書は，メディアコンテンツの制作に携わる人が，前提として身に付けておくべき物理学の基礎をまとめた教科書である。リアルなコンテンツを作ろうとする人には，直接的な制作技術ガイドとして役立つだろう。物理的に正しいコンテンツを作る最も簡単な方法は，現実を表面的に観察して真似ることではなく，その背景にある理論に従って物や人を動かすことである。一方，ありえない世界を描くコンテンツを作る人には，現実世界をリアルに描くこととの対比において，非現実的なアイディアがより輝くということを知ってほしい。いずれの場合にも，物理学の知識は必ずや制作物のクオリティを上げることに役立つはずである。

1章は，メディアのすべての分野に共通する物理学の基礎のまとめである。高校で習っているはずの内容も多く含まれるが，前提知識としてしっかりと身に付けてほしい。

2章では，画像処理に関わる物理を扱う。マルチメディアという言葉が当たり前の時代にあっても，画像情報は依然としてメディア処理の中心であり，カメラやディスプレイの背景にある物理法則を知ることはきわめて有用である。

3章は，コンピュータグラフィクス（CG）に関連する章である。物がどのように見えるかをシミュレートするためには，気体や液体を含む物体がどのように運動し，それがどのような光との反応を経てわれわれの目に入るかを知る

ことが重要である。

4章は，音に関する物理の章である。音は，ともすると直感的な鑑賞の対象となってしまいがちであるが，波としての性質を理解することにより，さまざまな音の加工が系統的に行えるようになるはずである。

5章では，ゲームとバーチャルリアリティ（VR）に特化した内容を扱う。ゲームやVRで描かれる世界の中では，さまざまな物の複雑な運動をリアルタイムで描く必要がある。そのために必要となるさまざまな運動法則について本章で解説する。

6章は少し趣向を変えて，視聴覚に直接訴える内容というよりは，作品のストーリーを支える物理法則について述べることにした。物理学としてはやや難しい内容も含まれるが，ストーリー設定にリアリティを与えるための知識として読んでほしい。

本書は，1，4，6章を大淵が，2章（2.1～2.2節）と3章を柿本が，2章（2.3～2.5節）と5章を椿が担当した。1章以外はそれぞれ独立した内容になっており，どの章から読んでも構わない。本書が，より豊かなメディアコンテンツの制作のための一助となれば幸いである。

2022年2月

著者を代表して　大淵康成

目　　次

1章 物理の基礎

1.1 さまざまな運動 — 2
1.1.1 力と運動 — 2
1.1.2 運動方程式 — 5
1.1.3 力積と運動量 — 6
1.1.4 仕事とエネルギー — 8
1.1.5 万有引力 — 9
1.2 波 — 11
1.2.1 光と音 — 11
1.2.2 波長・周波数・速度 — 11
1.2.3 反射と屈折 — 13
1.3 電磁気学 — 15
1.3.1 静電場とクーロンの法則 — 15
1.3.2 定常電流と回路 — 17
1.3.3 電場と磁場 — 19
演習問題 — 20

2章 画像のための物理

2.1 色の理論 — 22
2.1.1 色の知覚 — 22
2.1.2 表色系 — 24
2.1.3 分光と等色関数 — 26
2.1.4 xy 色度図と色域 — 29
2.2 ディジタル画像 — 31
2.2.1 標本化と解像度 — 32
2.2.2 量子化と画素 — 32
2.2.3 HDR 画像 — 33
2.2.4 3 次元画像 — 36

2.3 映像機器のための電子工学 38
2.3.1 半導体 38
2.3.2 ダイオード 41
2.3.3 トランジスタ 44
2.3.4 イメージセンサ 46
2.3.5 AD 変換 47
2.3.6 SN 比 49
2.4 映像機器のための光学 49
2.4.1 プリズム 50
2.4.2 偏光 51
2.4.3 光学フィルタ 54
2.4.4 カラーフィルタ 55
2.4.5 レーザ 56
2.5 映像機器の原理 57
2.5.1 カメラ 57
2.5.2 ディスプレイ 60
2.5.3 プロジェクタ 62
演習問題 64

3章 CG のための物理

3.1 幾何光学とディジタル画像 66
3.1.1 ピンホールカメラと投影および撮影の原理 66
3.1.2 投影変換 68
3.1.3 レンズ 72
3.2 光の反射モデル 75
3.2.1 拡散反射と鏡面反射の近似モデル 75
3.2.2 レイトレーシング法 78
3.2.3 完全鏡面反射と屈折 80
3.2.4 配光特性 82
3.2.5 光の散乱と吸収 85
3.2.6 レンダリング方程式と経路追跡法 89
3.2.7 ボリュームレンダリング方程式とレイキャスティング法 92
3.2.8 物理ベースレンダリング 94
3.2.9 波動光学と CG 95
3.3 計測技術 98
3.3.1 形状の計測 99

3.3.2 反射特性の計測 101
3.3.3 モーションキャプチャの原理 102
3.4 動　力　学 104
3.4.1 動きの計算の基本 105
3.4.2 有限要素法 108
3.4.3 ばねモデル 110
3.5 流体力学 111
3.5.1 流体方程式 111
3.5.2 格子法と粒子法 112
3.5.3 stable fluids 法 113
3.5.4 粒子法による応用例 114
演習問題 116

4章 音響処理のための物理

4.1 運動方程式と振動現象 118
4.1.1 空気の振動としての音 118
4.1.2 単　振　動 120
4.1.3 単振動のエネルギー 121
4.1.4 減衰振動 124
4.1.5 強制振動 125
4.1.6 連成振動 126
4.1.7 波動方程式 128
4.2 音の伝搬 131
4.2.1 音の速さ 131
4.2.2 縦波と横波，変位波と密度波 132
4.2.3 球面波と平面波 133
4.2.4 進行波と定常波 136
4.2.5 音の反射・回折・屈折 137
4.2.6 二つの音の干渉 141
4.2.7 ドップラー効果 142
4.2.8 衝　撃　波 145
4.3 共鳴と音階理論 147
4.3.1 管楽器の共鳴 147
4.3.2 弦楽器の共鳴 148
4.3.3 ハーモニーと音律 150

4.4 音響機器のための電磁気学 154
4.4.1 電磁誘導と電磁力 154
4.4.2 電気回路 155
4.4.3 マイクロフォンとスピーカー 158
4.4.4 アンプ 160
演習問題 162

5章 ゲームと VR のための物理

5.1 衝突の理論 164
5.1.1 2物体の衝突と運動量保存則 164
5.1.2 壁や床への衝突と反発係数 167
5.1.3 力積と運動量との関係 169
5.2 質点系 171
5.2.1 外力と内力 171
5.2.2 質点系の質量中心と運動方程式 172
5.2.3 質点系の運動量保存則 175
5.3 回転と角運動量 176
5.3.1 角速度と角加速度 176
5.3.2 角運動量 177
5.4 剛体の力学 179
5.4.1 剛体と質点系 180
5.4.2 剛体の並進運動と回転運動 181
5.4.3 作用線の定理と力のつり合い 182
5.4.4 トルク 183
5.4.5 剛体の角運動量 186
5.4.6 角運動量保存則と回転運動の運動方程式 187
5.4.7 回転運動の運動エネルギーと慣性モーメント 189
5.5 VR 機器の原理 190
5.5.1 ヘッドマウントディスプレイの構成 190
5.5.2 加速度センサ 191
5.5.3 ジャイロセンサ 193
演習問題 195

6章 作品世界の中の物理

6.1 相対性理論と宇宙論 —— 197
6.1.1 相対性理論とは —— 197
6.1.2 ウラシマ効果 —— 198
6.1.3 $E=mc^2$ —— 201
6.1.4 ブラックホールとワームホール —— 203
6.1.5 因果律の破れ —— 205
6.2 量子力学と素粒子論 —— 207
6.2.1 波なのか粒子なのか —— 207
6.2.2 シュレディンガー方程式と波動関数 —— 209
6.2.3 タイムマシンとパラレルワールド —— 211
演習問題 —— 212

引用・参考文献 —— 213
演習問題解答 —— 216
索引 —— 219

1章 物理の基礎

◆本章のテーマ

本書で扱うさまざまな項目を理解するための前提となる，物理の基礎を概観する。はじめに，物体の運動を理解するための力学について学ぶ。つぎに，メディア学に欠かせない光と音の振舞いを理解するため，波についての基本を学ぶ。さらに，あらゆる電気機器の動作原理の基本となる，電磁気学についても学ぶ。本章の内容は，2章以降の内容を理解していくための基本となるものであり，確実に身に付けておくことが求められる。

◆本章の構成（キーワード）

1.1 さまざまな運動
　運動方程式，力，エネルギー
1.2 波
　波長，周波数，反射
1.3 電磁気学
　クーロン力，電流，電磁誘導

◆本章を学ぶと以下の内容をマスターできます

☞ 力を受けた物体の振舞い
☞ 力とエネルギーの関係
☞ 光と音に共通する波としての性質
☞ 電気と磁気の基本的な関係

1.1 さまざまな運動

1.1.1 力 と 運 動

物理学の歴史を紐解くとき，ガリレオ・ガリレイによるピサの斜塔からの落下実験[1),†1]の意味はきわめて大きい。この実験では，**図 1.1** のように，高い塔の上から同じ大きさで重さが異なる二つの球体を落下させたとき，二つとも同時に地面に落ちることが示された[†2]。実験そのものは後世の創作だという説もあるが，この時代に，物の落下という現象を通じて，身の回りの現象を数理的に記述するという考え方が広まったことの象徴と言ってもよい。

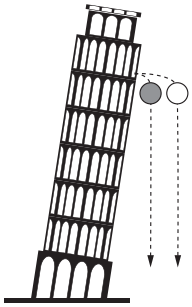

図 1.1 ガリレオ・ガリレイの落下実験

それまで多くの人たちは，なんとなく「重い物ほど速く落ちる」と思っていた。重い物ほど強い力で地面のほうに引っ張られていることは日常的に実感できるので，これは自然な感覚である。しかしこの実験で示されたのは，重い物も軽い物も同じ速さで落ちるという結果であった。これを説明するためには，重い物ほど動かすためには強い力がいる，という原理を導入すればよい。つまり，重さ（厳密には質量）が 2 倍になると，重力は 2 倍になるが，動かすために必要な力も 2 倍になるので，速さは変わらないというわけである。

落下実験では，もう一つ重要な事実が見つかるはずである。それは，塔の高

†1　肩付き数字は巻末の引用・参考文献を示す。

†2　ただし，空気中で実験を行う場合，空気抵抗の影響が無視できない精度で測定を行うと，同時にはならないことに注意が必要である。真空中で実験を行えば，精度を上げても差は生じない。1971 年に月面に着陸したアポロ 15 号からの中継では，真空中で羽とハンマーが同じ速さで落下する実験の様子が示された。

さを 2 倍にしても，落下時間は 2 倍ではなく $\sqrt{2}$ 倍（約 1.4 倍）にしかならないということである。これを説明するためには，**等速度直線運動**（uniform linear motion）と**等加速度直線運動**（uniformly accelerated linear motion）という二つの概念を理解する必要がある。

物体が特定の方向に一定の速度で移動するとき，速度と時間，距離の関係は，以下の式（1.1）で表される。

$$x = vt \tag{1.1}$$

ただし，x は距離，v は速度，t は時間である。この式で，v の値は変化せず，t が大きくなるとともに x も大きくなるような運動を**等速度直線運動**と呼ぶ。これに対し，v が一定ではなく，時間とともに変化するとどうなるだろうか。実験開始時には物体は止まっており，そこから一定の割合で徐々に加速していくとすると，その様子は

$$v = at \tag{1.2}$$

という式で表される。ここで a は**加速度**と呼ばれる。このような運動を**等加速度直線運動**と呼ぶ。このとき，式（1.2）の v は時間とともに変化するので，式（1.1）にそのまま代入することはできない。

等加速度直線運動で移動した場合の距離を求めるには，**図 1.2** をもとに，以下のように考える。

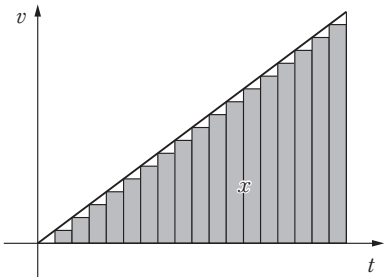

図 1.2 等加速度直線運動における時間・速度・距離の関係

まず，最初は速度 0 なので距離も 0 である。1 秒後に速度が a となり，それで 1 秒間進むと距離は a である。2 秒後には速度が $2a$ となり，それで 1 秒間進むと距離は $2a$ である。静止している物体に力が加わった場合，いきなり高

速で動き出すのではなく，このように少しずつ速度が上がっていく†。このことから，t 秒後までに進む距離は

$$a+2a+3a+\cdots+(t-1)a=\frac{at(t-1)}{2} \tag{1.3}$$

となる。ただし，1 秒間の間にも速度は変わっているので，これは正確な値とは言えず，厳密さを求めるためにはもっと短い時間刻みで考える必要がある。図 1.2 では，一つひとつの縦長の長方形が，1 秒間の移動の様子を示しており，これらの面積の総和が移動距離となる。時間の刻みを小さくすると，この長方形がどんどん細くなり，全体で一つの三角形を描くようになる。そのときの面積を求めれば

$$x=\frac{1}{2}at^2 \tag{1.4}$$

というのが正確な式であることがわかるだろう。

落下実験に戻ると，2 倍の距離を落ちるのに掛かる時間が $\sqrt{2}$ 倍というのは，まさに式（1.4）の x と t の関係に対応している。このことから，物体の落下は等加速度直線運動であるということがわかる。こうした運動の性質をもとに，ニュートンは以下のような**運動の法則**（law of motion）を導き出した。

（1） 外から力が加わらないとき，物体は等速度直線運動を続ける（**ニュートンの第 1 法則**）。

（2） 外から力が加わると，力の大きさに比例した加速度が，力の向きに生じる（**ニュートンの第 2 法則**）。

（3） 物体 A から物体 B に力が働くとき，物体 B から物体 A に同じ大きさで逆向きの力が働く（**ニュートンの第 3 法則**）。

第 3 法則は，これまでの説明からは導き出せない別の法則だが，この後の議論で重要となるので併記しておく。

---

† 筆者はスキーが好きなのだが，初心者と一緒に滑るときに「斜面のまっすぐ真下方向を向いたからといって，すぐに高速になるわけではなく，少しずつ加速していくのだから，その間に曲がれば大丈夫ですよ」と教えても，ほとんどの人は怖がって真下を向けない。現代においても，人間の直感はガリレオの時代と変わっていない。

1.1.2 運動方程式

ニュートンの第2法則は，そのまま式にして書くことができる。物体の加速度を $\mathbf{a}$，物体に掛かる力を $\mathbf{F}$，物体の質量を m とすると

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \tag{1.5}$$

というのが，ニュートンの運動方程式である†。ここで，力と加速度の比例定数が**質量**（mass）m となるのは，前項の落下実験のところで示したとおりであり，重力が質量に比例することと打ち消し合って，重い物も軽い物も同じ速度で落下することにつながる。なお，式（1.5）はベクトルの形で書かれており，直線上の運動だけでなく，空間中でさまざまな方向を持つ運動についても用いることができる。この式は，ニュートンの第2法則を数式に直したものであるが，この式で力 $\mathbf{F}$ を0にすれば，加速度も0となって速度が変わらず，ニュートンの第1法則が自動的に成り立つことがわかるだろう。なお，式（1.5）の右辺の単位は，質量〔kg〕と加速度〔$\mathrm{m/s^2}$〕の積となることから，力を表す単位としてN（ニュートン）が定められた。1Nは1 $\mathrm{kg\cdot m/s^2}$ である。

式（1.5）はベクトルの式だが，x 方向に働く力と y 方向に働く力を別々に記述できる場合には，x 成分の運動と y 成分の運動を別々に求めることができる。例えば，水平方向には力が掛からず等速直線運動し，垂直方向には重力が働いて等加速度直線運動をする場合，全体としては放物線を描いて動くように見える。

一方，時間とともに力の方向が変わる場合もある。典型的な例として，中心にひもで結び付けられた物体が**円運動**（circular motion）をする例を考えてみよう（**図1.3**）。時刻0における速度が $\mathbf{v}_0$ で，その Δt 秒後に $\mathbf{v}_1$ になったとする。このとき，$\mathbf{v}_0$ と $\mathbf{v}_1$ の大きさが同じだとしても，向きが違っていれば等速度運動とは呼べない。ここで，$\mathbf{v}_0$ から $\mathbf{v}_1$ への変化を，ベクトルの始点が重なるように書き直すと右の図となるが，このベクトルの変化量が $\mathbf{F}\Delta t$ になるというのが，運動方程式によって示されることである。

---

† 以下，本書では太字で示された変数はベクトルを表すこととする。

索　　引

【あ】

アース　43
アスペクト比　69
後処理　109
アニメーション　105
アンビエント　77
アンプ　160
アンペールの法則　19

【い】

位　相　121
位相関数　86
位置エネルギー　9
一次レイ　80
一般相対性理論　197
異方性　83
イメージセンサ　46, 67
色温度　31
因果律の破れ　206

【う】

うなり　142
運動の法則　4
運動エネルギー　9
運動量　7, 164
運動量保存則　8, 164

【え】

液　晶　60
エーテル　197
エネルギー　8
エネルギー保存則　9
エミッション　77
円運動　5
円偏光　52

【お】

オイラー法　112
応　力　109
オクターブ　150
オプティカルブラック　47
オームの法則　18, 156
親殺しのパラドックス　207

【か】

開　管　147
開　口　96
開口端補正　139
外　積　178
回　折　95, 139
解像度　32
階　調　33
回転運動の運動方程式　187
外　力　172
角運動量　177
角運動量保存則　187
角加速度　177
拡散反射　75
角周波数　120
角速度　176
角　膜　22
影レイ　80
化合物半導体　43
重ね合わせの原理　130, 141
可視光　26
可視点　78
荷重条件　109
画　素　32
画素回路　47
加速度　3
加速度センサ　191
画素サイズ　47
可聴音　121
加法混色　25
カメラ座標系　69
カラーフィルタ　55
カラーホイール　63
管楽器　148
慣性センサ　190
慣性モーメント　187
完全鏡面反射　76
桿　体　22
完全非弾性衝突　168
関与媒質　85

【き】

基　音　147
幾何光学　66
逆位相　141
キャリヤ　41
吸　収　85
球面波　134
共　鳴　125, 148
鏡面反射　75
共有結合　39
局所照明　90
キルヒホッフの第 1 法則　156
キルヒホッフの第 2 法則　156

【く】

空間周波数　54
空乏層　42
屈　折　14
屈折率　15, 81
クリッピング面　69
グレア　95
グレースケール画像　33
クーロンの法則　15
クーロン力　16

【け】

形状データ　68
経路追跡法　90
ゲート　45
弦楽器　148
減法混色　25

【こ】

コイル　18

光学式マーカー 103
光学素子 49
光学フィルタ 54
光学ローパスフィルタ 54
光　源 82
格子法 112
光　子 208
光　線 67
光線追跡法 73, 78
光　束 62
拘束条件 109
剛　体 105, 180
光　沢 77
光電効果 207
光電変換 43
後方散乱 87
固定端反射 139
コヒーレンス 57
コペンハーゲン解釈 209
コリオリ力 193
コンデンサ 18, 157
コンデンサマイクロフォン 159
コンピュータグラフィックス 66

【さ】

再帰性反射材 103
彩　度 25
撮像素子 46
サブピクセル 32
作用線 182
　——の定理 182
作用点 182
散　乱 85
散乱位相関数 86

【し】

視　界 69
色　域 31
色覚モデル 23
磁気センサ 102
色　相 25
仕　事 8
視細胞 22
視差画像 100
事象の地平面 203
自然光 51
視線方向 69
質　点 171
質点系 172
質点ばねモデル 110
質　量 5
質量中心 172
視　点 69
視点座標系 69
磁　場 19
ジャイロセンサ 193
視野角 69
写真乾板 67
写真撮影 67
周　期 12
集積回路 38
自由端反射 138
自由電子 38
周波数 12
重力レンズ効果 203
ジュール熱 18
シュレディンガーの猫 209
純　音 121
純正律 153
衝撃波 146
条件等色 24
衝突解析 105
消費電力 18
消費電力量 18
真空管 160
神経線維 22
進行波 137
真性半導体 41
深度カメラ 100
振　幅 121

【す】

水晶体 22
錐　体 22
ストライプ配列 56
スネルの法則 81
スピーカー 158
スペキュラー 75
スペクトル 27
スペクトル軌跡 30
スポットライト 83

【せ】

正規化デバイス座標系 70
成　分 32
整流作用 41
赤外線カットフィルタ 54
絶対屈折率 15
節　点 108
全反射 50, 82
前方散乱 87

【そ】

相対屈折率 15
像 67
双方向反射分布関数 101
双方向パストレーシング 92
ソース 45
速度ベルレ 107
塑性体 105

【た】

大域照明 90
ダイオード 41
ダイクロイックプリズム 51
ダイクロイックミラー 51
ダイナミックマイクロフォン 159
ダイナミックレンジ 34
縦　波 132
ダハ面 50
単色性 57
単振動 121
弾性衝突 168
弾性体 105
弾塑性 105
単板式 58

【ち】

力のモーメント 184
中心窩 22
調和性 151
直線偏光 52

【て】

抵　抗 18
ディジタルカメラ 67
定常波 137
ディフューズ 75

適応的ヒストグラム均等化 35
デモザイキング 59
電　圧 18
電　位 17
電　荷 16
点群データ 100
電磁波 26
電磁誘導 20, 154
電磁力 155
電　場 16
電　流 18

【と】

投　影 67
投影面 67
等加速度直線運動 3
透視投影 71
等　色 24
等色関数 28
等速度直線運動 3
等方性 83
特殊相対性理論 197
ドップラー効果 143
ド・ブロイ波 208
トランジスタ 44, 161
トルク 183
ドレイン 45
トーンマッピング 35

【な】

ナイキスト周波数 55
内　力 172
ナビエ・ストークス方程式 111

【に】

ニアクリッピング面 70
二次レイ 80
ニュートンの第１法則 4
ニュートンの第２法則 4
ニュートンの第３法則 4

【ね】

粘塑性 105
粘弾性 105

【は】

倍　音 147
配光特性 84
媒　質 81
バイナリサーチ 48
ハイライト 76
パストレーシング 90
バーチャルリアリティ 102
波　長 11, 130
発光ダイオード 43
波動関数 209
波動光学 66
波動方程式 129
ばねモデル 110
ばね-質点系モデル 110
波　面 96, 133
ハーモニー 151
腹 137
パラレルワールド 211
パルス幅変調 63
反　射 13, 67
反射モデル 75
半導体 38
半導体ダイオード 41
反発係数 167
反物質 202
万有引力の法則 10

【ひ】

比較器 48
光の３原色 25
被写界深度 72
ピタゴラス音律 152
非弾性衝突 168
ビューイングボリューム 69
ビューフラスタム 70
ビューポート変換 71
描　画 68
標本化 32
表面下散乱 87
ピンホールカメラ 66
ピンホールカメラモデル 68

【ふ】

ファークリッピング面 70
フィルム 67
フォトグラメトリ 101
フォトダイオード 43
フォトンマッピング 92
フォンの反射モデル 75
不確定性原理 210
節 137
不純物半導体 40
フックの法則 110, 120
物質波 208
物理シミュレーション 105
物理ベースレンダリング 94
浮動小数点数 34
フラウンホーファー回折 96
ブラックホール 203
プリズム 49
プリプロセッシング 109
フレネル回折 96
フレネル反射 78
プロジェクタ 62
分　光 27
分光分布 27

【へ】

閉　管 147
平均律 153
平行宇宙 211
平面波 135
平面波近似 135
ベイヤ配列 56
変　位 109
変位波 132
偏　光 51
偏光フィルタ 52
偏光方向 52
ペンタダハプリズム 50
ペンタプリズム 50

【ほ】

ホイヘンスの原理 96
放射強度 76
ポストプロセッシング 109
ポリゴン曲面 68

ボリュームレンダリング方程式 92
ホール 41
ホワイトホール 204

【ま】
マイクロフォン 158
マイクロミラー 63
マイケルソン・モーリーの実験 197
前処理 109
マックスウェルの方程式 20
マルチスペクトル 28
マンセル色相環 26

【み】
ミー散乱 86
密度波 132

【め】
明　度 25
メトロポリス光輸送 92

【も】
網　膜 22
モーションキャプチャ 102
モーター 19
モード 128
モンテカルロ法 90
モンテカルロレイトレーシング 90

【ゆ】
有限要素法 108

【よ】
横　波 132

【ら】
ラグランジュ法 112
ラプラシアン 129
ラプラスの悪魔 210
ランバートの余弦則 76
ランバート反射 75

【り】
力　積 6, 169
リニアワークフロー 36
粒子法 112
量子化 33
量子化ビット 33
量子力学 207

【れ】
レ　イ 78
レイキャスティング法 92
レイトレーシング法 73, 78
レイリー散乱 86
レーザ光 56
レーザスキャナ 99
レーザダイオード 43
レンジセンサ 99
レンダリング 68
レンダリング方程式 89

【ろ】
ローレンツ力 155

【わ】
ワームホール 204
ワールド座標系 69

【アルファベット】
AD コンバータ 47
AD 変換 47
A 特性フィルタ 124
BRDF 101
BVH 80
CG アニメーション 105
CMOS 46
Cook-Torrence のモデル 78
CT 36
DA 変換 48
DLP 62
DMD 62
DOF 72
FEM 108
HDR 画像 34
HSV モデル 26
kd ツリー 80
LDR 画像 35
MEMS 192
MOS トランジスタ 44
MOS-FET 44
MRI 37
NMOS 45
n 型半導体 40
PMOS 45
p 型半導体 41
pn 接合ダイオード 41
RGB 表色系 24
SN 比 49
stable fluids 法 113
spp 90
VR 102
X 線 CT 37
XYZ 表色系 26
xy 色度図 29

【数字】
2 値画像 33
3 次元デジタイザ 99
3 板式 58
3D スキャナ 99

―― 著 者 略 歴 ――

大淵　康成（おおぶち　やすなり）
1988 年　東京大学理学部物理学科卒業
1990 年　東京大学大学院理学系研究科修士課程修了（物理学専攻）
1992 年　株式会社日立製作所中央研究所勤務
2002 年　米国カーネギーメロン大学客員研究員（兼務）
～03 年
2005 年　早稲田大学客員研究員（兼務）
～10 年
2006 年　博士（情報理工学）（東京大学）
2013 年　クラリオン株式会社勤務（兼務）
～15 年
2015 年　東京工科大学教授
　　現在に至る

柿本　正憲（かきもと　まさのり）
1982 年　東京大学工学部電子工学科卒業
1982 年　株式会社富士通研究所勤務
1989 年　米国ブリガムヤング大学客員研究員（兼務）
～90 年
1993 年　株式会社グラフィカ勤務
1993 年　株式会社ノバ・トーカイ勤務
1995 年　日本シリコングラフィックス株式会社勤務
2005 年　東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了（電子情報学専攻）
　　博士（情報理工学）
2011 年　シリコンスタジオ株式会社勤務
2012 年　東京工科大学教授
　　現在に至る

椿　郁子（つばき　いくこ）
1995 年　東京工業大学理学部物理学科卒業
1997 年　東京工業大学総合理工学研究科修士課程修了（材料科学専攻）
1997 年　昭和電工株式会社勤務
2004 年　東京大学新領域創成科学研究科博士課程修了（基盤情報学専攻）
　　博士（科学）
2007 年　シャープ株式会社勤務
2016 年　東京工科大学准教授
　　現在に至る

メディアのための物理 ── コンテンツ制作に使える理論と実践 ──

Physics for Media Science ― Theory and Practice Usable for Content Creation ―

© Obuchi, Kakimoto, Tsubaki 2022

2022 年 4 月 22 日　初版第 1 刷発行　★

検印省略

著　者　大淵康成
　　柿本正憲
　　椿郁子
発行者　株式会社コロナ社
　　代表者　牛来真也
印刷所　萩原印刷株式会社
製本所　有限会社愛千製本所

112-0011　東京都文京区千石 4-46-10
発行所　株式会社　**コロナ社**
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan
振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)
ホームページ https://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-02798-3　C3355　Printed in Japan　（松岡）

JCOPY　＜出版者著作権管理機構 委託出版物＞
本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は，そのつど事前に，出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088，FAX 03-5244-5089，e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー，スキャン，デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は，いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。