

# プログラムで愉しむ 数理パズル

——未解決の難問や AI の課題に挑戦——

工学博士 伊庭 斉志 著

コ ロ ナ 社

# まえがき

ほかの偉大な数学者と同じように Kummer もまた熱心なコンピュータであった。そして、抽象的な熟考ではなく数多くの計算の経験によって発見に導かれたのである。しかし今日ではコンピュータの使用は評判が悪い。計算が楽しみであるという考えはめったに聞かれない (Harold, M.E. : "Fermat's Last Theorem: A Genetic Introduction to Algebraic Number Theory" Springer Science & Business Media, 2000)。

本書は、プログラムを通して数理パズルを楽しみ、その背後にある考えや応用につながるアイデアを理解しようというものです。

筆者の前著 (『C による探索プログラミング (オーム社, 2008 年発行)』) でも述べましたが、もともとプログラミングが好きでも得意でもなかった筆者は、自分のためにプログラムを書き始めて、その面白さに魅入られました。博士課程で幾何定理の自動証明という人工知能の一分野をテーマとしてコンピュータを利用するうちに、コンピュータは道具でありながら、かつ創造的な手段であることに気がついたのです。このまえがきや 1 章の冒頭の引用にあるように、実験したり計算したりすることは、偉大な数学者においても重要な研究のよすがであったようです。ガウスやオイラーが現代によみがえったとすれば、きっと彼らもコンピュータを駆使していたと思います。

そのため本書では、さまざまな数理的なトピックをプログラムの実行を通して理解するように解説しています。その内容は、数学の未解決問題、確率パズル、数理パラドクス、中立進化のメカニズム、数理最適化など多岐にわたります。人工知能や人工生命の最新のトピックへの関連も紹介しています。これらの話題はそれぞれ独立なので、読者は興味を持った問題から読み進めていくことをおすすめします。

本書のトピックのほとんどは専門的知識を要しない平易な話題から始まりませんが、中には未解決問題や最新の研究テーマにつながるものもあります。例え

ば、Floydの問題(6.2節)やモラン過程(5章)などは筆者の関連する分野での学位論文のテーマの一つとなっています。もしも興味を持ったらその関連の文献や最新の動向を調査するとよいでしょう。

本書で説明するプログラムのソースコード(一部は巻末付録にも掲載)やデモソフト、練習問題のヒントと解答例の一部は筆者の研究室のホームページからダウンロード可能になっています。読者はぜひ自ら実験して、プログラミングで楽しみながら学んでください。ただしこれらのプログラムは解答の一例かもしれません。そのためダウンロードして実行するだけでなく、自分でプログラムを修正(できれば作成)することを推奨します。それによりプログラムを通して考えること、さらには人工知能や人工生命につながるようなプログラムを実現することの楽しさや奥深さを実感できると期待しています。また読者の自習を助けるために練習問題は以下のようにレベル分けしています。これらはおもに筆者の講義で出題したときのレベルを踏襲しています。

★ : 易しい問題 (basic level) または参考問題 (とくに解く必要はないが数学的な厳密性を求めるなら挑戦すべき)

★★ : 中程度の問題 (ambitious level)

★★★ : 難しい問題 (super-ambitious level)

本書のもとになったのは、筆者の大学での「計算機プログラミング」「ソフトウェア・プログラミング II」「人工知能」「システム工学基礎」「シミュレーション学」などの講義ノートです。講義の運営に協力してくれた、東京大学大学院・情報理工学系研究科・電子情報学専攻・伊庭研究室のスタッフの方々および学生の皆さまに厚くお礼を申し上げます。とくにザー・バン・タンさんと宮田圭介さんは1章のプログラム作成を手伝ってくれました。また、勝元甫君は truel と秘書問題のデモソフト作成に協力してくれました。さらに本書で説明するトピックに関連したプログラム作成に協力してくれた学生の皆さま、なによりも面白いレポート作成に尽力してくれた受講生の皆さまに深く感謝いたします。

---

<sup>†</sup> <http://www.iba.t.u-tokyo.ac.jp/>の書籍サポートから迎れるページ (URL は 2016 年 3 月現在)

これらの講義では、毎回優れたプログラムや感心させられるレポートを目にすることが少なくありません。また、まったく講義と関係ない一般の方々（社会人や他大学の学生など）から課題の解答が送られてくることもありました。ホームページを見て課題内容に興味を持たれたそうです。この機会にこうした好事家の皆さまに深く感謝いたします。

最後に、いつも研究生生活を陰ながら支えてくれた妻由美子、子どもたち（滉基、滉乃、滉豊）に心から感謝します。

2016年3月 Queen Cityにて

伊庭 斉志

# 目 次

## 1 数で遊ぼう

1.1 素数を生成する式	1
1.2 素数を判定するアルゴリズム	7
1.3 素数の不思議	12
1.4 繰返しを極めよう	22
1.5 未解決問題の予想に挑戦しよう	25
1.6 整数になる不思議	29
1.7 三角形を考える	32

## 2 確率の不思議を見てみよう

2.1 パスカルの問題：確率論の誕生	39
2.2 ランダムな3点が鋭角三角形になる確率は？： 答えが一つとは限らない	42
2.3 入れ替わっても元の位置にない確率は？	46
2.4 コペルニクススの原理と未来の予測	52

## 3 確率の難問に挑もう

3.1 ベイジアンになろう	60
3.2 3囚人の問題：私は幸せになったのか？	72
3.3 モンティ・ホール問題：一攫千金を狙え	75
3.4 Kruskal カウント：マジックは好きですか？	78

## 4 論理パズルを読み解く

4.1 100囚人の問題：プログラミングに群論を	84
--------------------------	----

4.2	truel : 3人で決闘をしてみたら	88
4.3	13日の金曜日は本当に多いのか?	101
4.4	三段論法推論: ソクラテスは死ぬか?	105

## 5 進化の不思議を見てみよう

5.1	モラン過程	114
5.2	遺伝子の固定確率	117
5.3	進化速度	119
5.4	中立仮説	120
5.5	中立進化を実験してみよう	122
5.6	中立仮説と進化速度	125
5.7	系統樹の作成	126
5.8	最尤法による推定方法	131

## 6 最適化の難問に挑戦しよう

6.1	秘書問題: 一番よい秘書さんを選ぶには?	135
6.2	分割問題: 公平に分割するのは難しい	145
6.3	荷物をどう詰めるか?	156

付録	: プログラム	168
----	---------	-----

引用・参考文献	183
---------	-----

練習問題のヒントと解答例	188
--------------	-----

索引	211
----	-----

## 2

# 確率の不思議を 見てみよう



四人は腰を下ろして昼食をとり、話はもっと現世的なことに転じた。すると、まだ他のことを話しているさなか、だしめけにフェルミが聞いた。「みんなどこにいるんだろうね」。<sup>13)</sup>

## 2.1 パスカルの問題：確率論の誕生



### Quiz ギャンブラーの問い

二人のプレイヤーが公平なコインを5回投げ続けて、裏か表のどちらが出るかに賭ける。5回のうち多く当たったほうが賭け金を総取りする賭けをしたとしよう。ところが勝敗が決まる前に、ゲームを中止しなくてはならなくなった。以下の場合に、二人は賞金をどう分けるべきであろうか？

- 状況 1：3回投げたときに、当たり数が2対1のとき
- 状況 2：1回投げたときに、当たり数が0対1のとき

1654年に、あるギャンブラーが友人の数学者パスカル<sup>†</sup>にこの問題の解答を尋ねました（以下は文献<sup>38)</sup>を参考にした）。そのときパスカルは自分の解に自信がなかったので、フェルマーに手紙で確かめたそうです。その後が続くいくつかの往復書簡が、確率論の誕生につながったとされています。

この問題をコンピュータ・シミュレーションで解いてみましょう。二人のプレイヤーをA、Bとし、Aはつねに表に、Bはつねに裏に賭けると仮定しましよ

<sup>†</sup> フランスの哲学者・自然科学者・数学者、ブлез・パスカル (Blaise Pascal (1623–1662))。「人間は考える葦である」の言葉で有名。

# 4

## 論理パズルを 読み解く



何も考えなかった。私はただ実験したのです（ヴィルヘルム・コンラート・レントゲンが「X線を発見したとき何を考えたか？」と聞かれて答えた言葉）。

### 4.1 100 囚人の問題：プログラミングに群論を



#### Qiz 100 囚人の問題

王国の監獄に 100 人の囚人がつかまっています。囚人には 1 から 100 までの異なる番号が付けられています。ある部屋に 100 個の箱が一行に並んで置かれていて、各自の番号（1～100）が箱の一つずつ入っているとします。ただし箱を開けないと入っている番号は分かりません。気まぐれな王様は次のように宣告しました。

「おまえたち囚人のそれぞれが別々に部屋に入って 50 個までの箱を覗いてよい。それに自分の番号があれば全員を釈放しよう。」

これを聞いて囚人は喜びました。しかしそれは次の言葉まででした。

「ただし、すべての囚人が成功した場合のみだ。一人でも失敗すれば終わりだ。全員を処刑する。」

このとき何かよい戦略はあるでしょうか？

この問題では、囚人には前もって戦略の構想を練る機会がありますが、ひとたびだれかが部屋に入れば一切のコミュニケーションは許可されません。

少し考えてみると、囚人にとって状況は絶望的です。実際、ランダムに全員





## 【練習問題 4.4 ★★】

## simultaneous truel

A, B, C の射撃力が異なり ( $A > B > C$  の順位でよい)、同時に撃つ truel を考えます。このとき、各自が一番上手な敵を撃つ戦略を取るとどのようになるかをシミュレーションと理論的に示してください。例えば A, B, C の射撃力の違いがわずかに  $91\% > 90\% > 89\%$  のときにどうなるかを見てみると面白いでしょう。また別の戦略 (例えば最も下手な敵を撃つ) 場合にはどうなるのでしょうか？

## 4.3 13日の金曜日は本当に多いのか？

13日は金曜日になることが多いような気がしませんか？ これは本当でしょうか？ だからこそ13日の金曜日は忌み嫌われているのかもしれませんが。それとも単に印象が強只是因为でしょうか？



## 【練習問題 4.5 ★】

## 13日の金曜日 (1)

うるう年で、13日が金曜日になる月は最も多い場合で何回ありますか？ またその年の1月1日は何曜日でしょうか？<sup>†</sup>

実際に、現在のグレゴリウス暦では、400年間で「13日」は4800回あり、そのうち金曜日は688回です。ほかの曜日は、土、日、月、火、水、木が684, 687, 685, 685, 687, 684回なので一番多いという説があります<sup>44)</sup>。

このことを検証してみましょう。曜日を求めるアルゴリズムとしては以下の二つが知られています。

## 1. ツェラーの公式

$y$  年  $m$  月  $d$  日の曜日を求める。ただし、1月と2月は、前年の13月、14月として扱う。これはうるう年のときに2月の最後に29日が加わるが、最後の月を2月(14月)にすることで扱いを容易にするためである。また、紀元前  $y$  年は西暦  $1 - y$  年とする。このとき、曜日  $h$  は

<sup>†</sup> この問題は中学受験用の問題集から採用した<sup>55)</sup>。そこでは、グルグルカレンダーやお化け日歴といった名称で、曜日や日数を計算をするテクニックが紹介されている。

# 6

## 最適化の難問に 挑戦しよう



Optimization hinders evolution (anonymous quotes)  
最適化は進化を妨げる（詠み人知らず）

### 6.1 秘書問題：一番よい秘書さんを選ぶには？

あなたは次から次へと現れる候補の中から一人を選ぶ立場にあるとします。このときどのような基準で候補者を採用すればよいでしょうか？

このような最適選択問題は日常生活で頻繁に目にします。例えば結婚相手を選ぶ場合には、恋愛でもお見合いでもどの人を決めればよいかは重要な（おそらく人生で最も最適化技術を要する）問題です。ここでは公平さのため二股交際にはできないとしましょう。また断った相手には二度と再会のチャンスがないものとします。

秘書さんを一人選ぶ場合も同じ困難に直面します。何人かの候補者が次々に面接にやってきます。このとき現在面接している人を選ぶのかは、次の候補者が来るまでに決めなくてはなりません。その人を「不採用」としてしまえば、二度とその人にコンタクトを取ることはできません。また「採用」としたならば、そのあとでよりよい人材が来たとしても受け入れることはできません。このような条件下では、どのような基準で採用すれば最も優れた秘書を選べるでしょうか？

一見この問題は解決不能に見えます。たしかに必ず最適候補（最適解）を獲得するとは限らないでしょう。しかし確率的に考えると、優れた戦略を見つけることができます。この問題を「秘書問題」と呼んでいます<sup>†</sup>。

<sup>†</sup> 初出はマーチン・ガードナー (Martin Gardner) による Scientific American の Mathematical Recreations という連載コラム (1960年2月) とされている。

より形式的に定義すると、秘書問題は次のようになります。



### Quiz 秘書問題

- 1人の秘書を採用する。
- 候補者数  $n$  は有限であり事前に決められている。
- 面接の直後に採否を決定する。 $n - 1$  回まで採用しなかったときは、 $n$  番目の候補者を無条件で採用する。
- 採用が決まった時点で終了し、過去にさかのぼって不採用にした候補者を採用することはできない。
- 同順位の候補者は存在しない。候補者を同時に評価すれば、第1順位、第2順位～第 $n$ 順位をつけることができる。
- どの順番で、どの順位の候補者が現れるかはわからない。

このとき第1順位の候補者（最良の秘書）を採用する確率（成功確率）が最大となる戦略を設計せよ。

ここでは、第1順位の秘書を採用することが最良の戦略であるとしています。

これに対しては、いくつかの戦略が知られています。例えば cut-off ルールと呼ばれる戦略は次のようなものです。

#### cut-off ルール

1.  $n$  人の候補者に対して、 $r$  を  $1 \sim n$  の整数値に設定する。
2.  $r - 1$  回の面接までは無条件で不採用にする。
3.  $r$  回以降は次の面接を繰り返す。
  - (a) それまでに不採用にした人との比較で（暫定順位が）1位ならば採用して終了する。
  - (b) そうでなければ不採用にする。



この戦略では  $r$  の設定が重要となります。例えば 10 人の候補者がいる場合を



## 【練習問題 6.5 ★★★】

## Floyd の問題

表 6.8 の実行例では知られている最良解にはそれほど近づけませんでした。この原因や改良法の詳細は文献<sup>4)</sup>にあります。では、GA に限らずにこの問題をできるだけ効率的に解く方法を考えてみましょう。例えば、GA の初期世代の遺伝子型に欲張りアルゴリズムと差分法の結果を混ぜることで性能は改良されます。

### 6.3 荷物をどう詰めるか？

次のように荷造りをする問題を考えましょう（図 6.7）。



#### Uiz 荷造り問題

ベルトコンベアをいろいろな大きさ（サイズ）の荷物が  $N$  個流れてくる。すべての荷物のサイズは  $L$  単位以下とする。ここで最大で  $L$  単位の荷物が入る大きな箱がある。このとき、使う箱の数が最小になるように詰めるにはどうすればよいか？

例えば、以下の例題を扱ってみましょう。

- 荷物の数は  $N = 25$  個とし、箱のサイズを  $L = 10$  とする。
- 荷物は次の順で流れてくる。

6,5,5,5,5,4,3,2,2,3,7,6,5,4,3,2,2,4,4,5,8,2,7,1

ここでベルトコンベアという点に注意しましょう。このため

- 荷物をまとめて分類できない。
- 荷物が来るたびに一つずつ箱に詰めるしかない。
- 荷物の数が分からない。

という制約があります。なお、この制約は後に述べる解法では緩和していきま。以下ではこの問題を解くためのヒューリスティクスをいくつか説明します。

# 索引

<b>【あ】</b>	オフラインヒューリスティクス 161	グレゴリウス暦 101, 104
アイゼンシュタイン三角形 33	オンラインヒューリスティクス 161	群論 85
アノマロカリス 127	<b>【か】</b>	<b>【け】</b>
アミノ酸 128, 131, 205	カーマイケル数 9	計算困難 145
<b>【い】</b>	階乗ループ 23	計算量 7, 147, 152, 210
一時状態 96	解析の数論 16	系統学 126
一様交叉 155	回文 37, 191	系統樹 126, 205
一様分布 56, 82, 148, 175, 196	確信度 53	ゲノム解析 128
一様乱数 51, 53	攪乱順列 48, 50	検察官の誤審 70
一点交叉 155	確率空間 45	検査パラドクス 54, 174, 195
遺伝子型 151, 154, 156, 164, 210	確率モデル 45	<b>【こ】</b>
遺伝的アルゴリズム 31, 132, 207	過剰数 26	後行順操作 132
遺伝的浮動 121, 126	頑強性 131	交叉 164, 207, 210
遺伝的プログラミング 132	完全数 25, 36	公差 20
因果推論 70	カンプリア紀 59, 127	合成数判定のアルゴリズム 9
<b>【う】</b>	<b>【き】</b>	合同式 7, 102
ウィルソンの定理 8	機械学習 60, 68	効率 146
宇宙人 57	幾何分布 82	コード化 149
<b>【え】</b>	木構造 30	コーパス 69
エラー率 9, 11	記号的表象 109	ゴールドバッハ予想 13
塩基 131	擬似素数 9	互除法 19
塩基配列 119	擬似乱数 40	固定確率 117, 120, 122
冤罪 71	基本行列 96	固定間隔 122
円周率 51	逆ポーランド記法 30	固定時間 122
<b>【お】</b>	吸収確率 96, 99	コペルニクスの原理 52, 195
オイラー図 109	吸収状態 96, 115	<b>【さ】</b>
黄金比 32	偽陽性 62	最悪状況解析 147
オーソロガス遺伝子 129	距離行列法 130	再帰 50
オーバーフロー 7, 8	均衡点 99	最終カード 79
	近親交配 122	最大公約数 4, 5
	近隣結合法 130, 206	最大尤度 206
	<b>【く】</b>	最適化 68, 147, 164
	グルグルカレンダー 101, 203	最適選択問題 135
		最適戦略 141
		最適値 143, 148, 163, 165

最尤法 130, 131, 206  
 最良適合度 154  
 差分法 147, 153, 155, 209  
 三角数 34  
 算術演算 8, 11  
 三段論法 105, 204

【し】

事後確率 66, 68  
 指数分布 122, 195  
 事前確率 65, 68, 75  
 自然対数の底 50, 140  
 自然淘汰 126  
 自白 71  
 シミュレーション 40,  
 44, 47, 73, 77, 79, 85, 91,  
 122, 140, 143, 148, 171,  
 193, 200, 208  
 自明でない平方根 10  
 集合論 109  
 集団遺伝学 114, 120  
 集団数 122, 155, 165, 210  
 周辺確率 61, 66  
 種分化 129  
 巡回セールスマン問題 207  
 巡回置換 86  
 ——の長さ 86  
 条件付き確率 73  
 小前提 105  
 乗法定理 61  
 ジョセフ・ステインの方法 5  
 進化 58  
 ——のメカニズム 120  
 進化過程 126  
 進化速度 125  
 進化モデル 117  
 人工生命 58  
 人工知能 15, 31, 60, 113  
 人類の未来 54

【す】

推移確率 81  
 推移確率行列 93, 95, 199

数論の父 8  
 スпамフィルタ 69

【せ】

正確さ 146  
 正規分布 57, 195, 209  
 成功確率 136, 140,  
 142, 143, 209  
 星状系統樹分割法 134, 206  
 生命進化 119  
 世代数 155  
 遷移確率 131  
 線形合同法 40

【そ】

相関関係 70  
 相対適合度 120  
 相対的ダーウィン適応度 117  
 素数生成多項式 2, 188  
 素数判定 7, 10, 168  
 素数魔方陣 21  
 ソフトコンピューティング 133

【た】

大前提 105  
 大量絶滅 58  
 多目的最適化 32  
 多様性 58

【ち】

置換 120, 129, 132  
 置換群 85  
 地球の年齢 53  
 逐次追加法 134, 206  
 致死遺伝子 164  
 知的観測者 52  
 中立仮説 121, 126  
 中立突然変異 123  
 超過剰数 27

【つ】

ツェラーの公式 101

強い人工知能 65, 70

【て】

データマイニング 68  
 適合度 117, 122,  
 151, 154, 155  
 デュードニー数 38  
 天井関数 160

【と】

同系交配 122  
 淘汰 116, 121  
 突然変異 116, 118, 123,  
 151, 164, 210  
 突然変異率 122, 124,  
 126, 151  
 トポロジー 129, 131, 206  
 取調官の誤審 71  
 ド・ポリニャック予想 15

【な】

並替えネクストフィット法 161  
 並替えファーストフィット法 162

【に】

荷造り問題 156  
 二分木 129, 206  
 ニューラルネットワーク 133  
 任意交配 121  
 認知科学 109, 143

【ね】

根 129  
 ネクストフィット法 158

【は】

バージェス頁岩 127  
 バイオインフォマティクス 130  
 バイナリ列 149, 154  
 排反事象 66

パスカルの問題 171  
ハッシュ表 13  
速 さ 146  
パラドクス 44, 54, 57  
繁殖個体数 125  
繁殖成功率 117  
反復二乗法 7

【ひ】

非協力ゲーム 99  
秘書問題 51, 136  
ピタゴラス三角形 32  
ビット演算 8  
ヒトゲノム 128  
ヒューリスティクス 132,  
144, 155, 158, 210

ビュホンの針 52  
表現型 151  
標本空間 45  
ビンパッキング問題 164

【ふ】

ファーストフィット法 159  
ファジィ 133  
フィールズ賞 21  
フェルマーの小定理 8  
フェロモン 132  
不思議の国のアリス 34  
不足数 26  
双子の素数 20  
ブラウアーの不動点定理 99  
フロッピーディスク 195  
分割問題 145, 209  
分子系統学 128  
分子系統樹 128  
分子進化 121, 126

【へ】

平均時間間隔 124  
平均待ち時間 56

ベイズ推定 68  
ベイズネットワーク 70  
ベイズの定理 66  
平方剰余 17, 20  
平方数 17  
平方総和 22  
べき剰余 7, 11  
ベストフィット法 164, 210  
ヘモグロビン 131  
ベルトランの逆理 44  
ベル方程式 38  
ヘロンの公式 32  
ヘロンの三角形 32  
ベン図 109

【ほ】

ポアソン過程 65  
ポアソン到着分布 195  
ポアソン分布 57  
ほとんど整数 30  
ポリア予想 15

【ま】

マシューズの公式 71, 196  
マルコフ過程 82, 91,  
98, 201  
マルチプルアラインメント  
129, 130, 206

【み】

未来予測 53

【む】

無根系統樹 129

【め】

メタヒューリスティクス  
132, 164, 167, 207  
メルセンヌ数 25  
メルセンヌ素数 36

メルセンヌ・ツイスタ 40  
メンタルモデル 109

【も】

モラン過程 114  
モンティ・ホール問題 76,  
177, 197  
モンテカルロ法 165

【や】

焼きなまし法 132  
約数ループ 24  
山登り法 31, 145

【ゆ】

友愛数 28  
ユークリッドの互除法 5  
ユークリッドの方法 17  
有限等差素数数列 20  
尤 度 68, 131, 134  
ユリウス暦 102, 104

【よ】

欲張りアルゴリズム 146,  
155, 209  
余弦定理 33  
弱いゴールドバッハ予想 14

【ら】

ランダム事象 65

【れ】

レーザーディスク 195  
レトロウイルス 128

【ろ】

ロズウェル 58  
論 理 113

## 英数字

<b>【A】</b>	
ACO	132, 207
AI	15, 109
Almost Integer	30
AM	31
<b>【B】</b>	
Benoit Cloitre の漸化式	6, 189
<b>【C】</b>	
candidate count ルール	141
cut-off ルール	136
<b>【D】</b>	
DNA	70, 129
doomsday	102
duel	89
<b>【F】</b>	
Fisher-Yates シャッフル	47, 79
Floyd の問題	151, 210

**【G】**

GA	132, 149, 154, 164, 209
Google	54, 203
GP	132

**【K】**

$k$ 完全数	25
Kruskal カウント	78, 178, 198

**【L】**

LISP	204
------	-----

**【M】**

Mathematica	4, 188
Messy GA	155
Miller-Rabin 素数判定テスト	7, 10

**【N】**

non-candidate count ルール	208
NP 完全	145
Nuel	89

**【O】**

OR ライブラリ	164, 166
----------	----------

**【P】**

PHYLIP	206, 207
PSO	132

**【S】**

SA	132
successive non-candidate ルール	141

**【T】**

truel	89, 200
-------	---------

**【数字】**

1 ダース法	144
3 囚人の問題	73, 175
$4k + 1$ 型素数	190
$4k - 1$ 型素数	17, 20, 190
13 日の金曜日	101, 203
99 ループ	25, 190
100 囚人の問題	85, 181

## 人名

**【え】**

エルデシュ, ポール	
Erdős, Paul	60, 77

**【お】**

オイラー, レオンハルト	
Euler, Leonhard	1, 12, 14, 17, 25, 29, 38, 51

**【か】**

ガードナー, マーチン	
Gardner, Martin	135
カープ, リチャード	
Karp, Richard Manning	147

カーマーカー, ナレンドラ	
Karmarkar, Narendra	147

**【き】**

木村資生	119, 126
キャロル, ルイス	
Carroll, Lewis	34, 191

**【く】**

ゲールド, ステイーブン・J.	
Gould, Stephen Jay	62, 128



クヌース, ドナルド  
 Knuth, Donald Ervin  
 89, 210

グラハム, ロナルド  
 Graham, Ronald 146

【こ】

ゴールドバッハ, クリスチャ  
 ン  
 Goldbach, Christian 13

コペルニクス, ニコラウス  
 Copernicus, Nicolaus 52

【た】

ダーウィン, チャールズ  
 Darwin, Charles 120

【て】

デカルト, ルネ  
 Descartes, René 26, 28

デュドニー, ヘンリー  
 Dudeney, Henry Ernest  
 38, 192

寺田寅彦 65

タオ, テレンス  
 Tao, Terence 20

【な】

ナッシュ, ジョン  
 Nash, John 99

【は】

ハーディ, ゴッドフレイ  
 Hardy, Godfrey Harold  
 1, 30

パスカル, ブレーズ  
 Pascal, Blaise 39, 193

【ひ】

ピンカー, スティーブン  
 Pinker, Steven Arthur 65

【ふ】

フェルマー, ピエール・ド  
 Fermat, Pierre de 8, 17,  
 26, 38, 39

フェルミ, エンリコ  
 Fermi, Enrico 57

【へ】

ベイズ, トーマス  
 Bayes, Thomas 65

【ほ】

ポリア, ジョージ  
 Pólya, György 15

【み】

ミラー, ジェフリー  
 Miller, Geoffrey 144

【ら】

ラグランジュ, ジョセフ＝  
 ルイ  
 Lagrange, Joseph-Louis  
 17

ラマヌジャン, シュリニ  
 ヴァーサ  
 Ramanujan, Srinivasa 30

【れ】

レイアード, ジョンソン  
 Laird, Johnson 109, 204

—— 著者略歴 ——

- 1990年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了（情報工学専攻）  
工学博士  
1990年 電子技術総合研究所入所  
1998年 東京大学助教授  
2004年 東京大学教授  
現在に至る

プログラムで愉しむ数理パズル

—— 未解決の難問や AI の課題に挑戦 ——

Mathematical Puzzles for Programming Fun

—— Challenging Unsolved Problems and AI-related Topics ——

© Hitoshi Iba 2016

2016年8月10日 初版第1刷発行



検印省略

著者 い ば ひ と し  
庭 齊 志  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 三美印刷株式会社

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 <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-02859-1 (松岡) (製本: 愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上の例外を除き禁じられております。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おりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします