

— は し が き —

応用数学とは、自然現象や社会現象などがある仮定のもとに数式で表現し、その解を数学的に求めたり、さらにこれらの現象を予測する数学のことであると定義できるかもしれない。この分野の数学に対して、わが国では応用数学という言葉が用いられているが、英語では、工業数学 (engineering mathematics)、工学のための数学 (mathematics for engineering)、あるいは理学および工学のための数学 (mathematics for science and engineering) などと表現されている。英語による表現のほうが具体的で、その対象を明確に表している気がする。

土木応用数学などという特殊な数学が存在するわけではない。本書では、土木工学の分野で用いられている数学を集めて土木応用数学と名づけ、それについて記述している。土木工学の分野ではどのような数学が用いられているのか、さらに、それらを用いるといかに問題が解決できるのかという点について読者に広い知識を得ていただくことを本書の目的とした。特に、記述に当たっては、理論のみを示すのではなく、土木工学の分野に出てくる例を用いてその計算の仕方を具体的に示すようにした。ただし、“第9章 有限要素法”と“第10章 境界要素法”では、本文中では理論のみしか示せなかったため、そのかわり演習問題の解答を詳しく示した。さらに、計算過程がよくわかるように、通常はコンピュータで計算するところも、本書ではできるだけ手計算の結果を示した。その他、種々の現象の基礎方程式の誘導の仕方や解析結果の考察は、きわめて重要なことではあるが、この本の対象外としたので、それらについては、関連のある土木工学の教科書や参考書を見ていただきたい。また、数学上の公式の証明は、理論の説明を冗長にし、応用数学の実体と利用法を理解するうえで妨げになると考え、できるだけ省くことにした。最近ではパーソナルコンピュータや大型コンピュータの普及により、実務で数値計算法がよく用いられるようになったので、“第7章 マトリックス解析法”、“第8章 差分法”、“第

9章 有限要素法”，第10章 境界要素法”，同じ理由から，“第12章 多変量解析”をあえて本書に入れることにした。その際，実務書ではなく教科書という本書の目的からコンピュータのプログラムは省略した。

ページ数の関係で，本書を読んだり，演習問題を解く際に必要な公式と数表のみを付録に示した。本文中の例題を理解したり，演習問題を行う際に必要であるので，連立方程式と固有方程式については，ポケットコンピュータのための解析プログラムを付録に示した。

今回，私には，この本の執筆というどうしても避けられない壁があったために，結果として応用数学のおもしろさを知ることができた。本書執筆に当たり，理論は理解できたと思っているのに例題をやってみると解けなかったり，例題は解けるのに理論が書けないというようなことがよくあった。読者の方々も，少しぐらいでへこたれず，この本を通じて，ぜひ応用数学に興味をもち，さらにより詳しい参考書でも勉強し，将来，実務において応用数学を十分に生かされることを期待する。

不勉強な著者が短期間で本書を書いた関係で，初歩的な誤りや記述の不備な点もあるかもしれない。読者のご指摘やご批判により改善につとめたいと願っている。

東京大学の伊藤 學 教授を委員長とする本シリーズの編集委員会の方々は，私にこの本を執筆する機会を与えて下さるとともに，本書をまとめるに当たり内容の構成について貴重な助言を下さいました。また，中井 博 教授をはじめとする大阪市立大学土木工学科の先生方には本書を記述するに当たり，励ましの言葉や貴重な助言をいただきました。これらの方々にごここで感謝の意を表します。

1986年8月

北 田 俊 行

目 次

第1章 序 論

1.1 本教科書の対象範囲	1
1.2 未知現象の解明方法	1
1.3 数 学 モ デ ル	2
1.4 現象の見方および種類	3
1.5 土木工学の分野で用いられる各種解析法	4
1.6 土木応用数学に関する参考書	4

第2章 微 分 方 程 式

2.1 常微分方程式	6
2.1.1 階数の引き下げ	7
2.1.2 変 数 分 離	8
2.1.3 特性方程式	9
2.1.4 演算子法による特殊解の決定	10
2.1.5 未定係数法による特殊解の決定	12
2.1.6 減衰を伴う自由振動	13
2.1.7 べき級数による解法	15
2.1.8 連立常微分方程式	17
2.2 偏微分方程式	18
2.2.1 波動方程式 (双曲形)	19
2.2.2 ラプラスの方程式 (楕円形)	21
2.2.3 熱伝導方程式 (放物形)	26
2.2.4 平面応力問題	28
2.2.5 板曲げ問題	29
2.2.6 円板の自由振動 (ベッセル関数)	30
2.2.7 梁の自由振動解析	32
演 習 問 題	34

第3章 複素関数論

3.1 複素関数	36
3.2 コーシー・リーマンの条件式	37
3.3 完全流体の非回転流	37
3.3.1 流れ関数	37
3.3.2 速度ポテンシャル	39
3.3.3 複素速度ポテンシャル	39
3.3.4 等角写像	41
演習問題	41

第4章 変分法

4.1 変分法の基礎	42
4.1.1 梁のたわみ	42
4.1.2 梁の自由振動	45
4.2 リッツの方法	46
4.2.1 梁のたわみ解析	46
4.2.2 梁の自由振動解析	47
4.3 ガレルキン法	48
4.4 偏微分方程式の常微分方程式への変換	49
演習問題	50

第5章 フーリエ解析・フーリエ積分

5.1 単純梁のたわみ解析	52
5.2 フーリエ級数	53
5.3 フーリエ級数を用いた偏微分方程式の解法	55
5.3.1 平板の曲げ解析	55
5.3.2 圧密の問題	57
5.4 調和解析	59
5.5 フーリエ積分	60
演習問題	63

第6章 ラプラス変換

6.1	ラプラス変換とは何か	65
6.2	ラプラス変換の法則	67
6.2.1	移動定理	67
6.2.2	ステップ関数	68
6.2.3	デルタ関数	69
6.2.4	グリーン関数	70
6.2.5	デュアメルの上重積分	71
6.3	逆変換	73
6.4	ラプラス変換による偏微分方程式の解法	75
	演習問題	77

第7章 マトリックス解析法

7.1	梁のたわみ解析	78
7.1.1	剛性マトリックス	78
7.1.2	連立方程式の解法 (コレスキー法)	84
7.2	梁の自由振動解析	87
7.2.1	固有方程式	87
7.2.2	ベクトルの直交性	90
7.2.3	一般化座標	91
7.2.4	固有値の数値算定法 (べき乗法)	92
7.2.5	ニュートン・ラフソン法による固有多項式の解法	94
	演習問題	95

第8章 差分法

8.1	常微分方程式 (境界値問題)	96
8.2	常微分方程式 (初期値問題)	98
8.2.1	ルンゲ・クッター法	98
8.2.2	ルンゲ・クッター・ギル法	101
8.2.3	ニューマークの β 法	101
8.3	偏微分方程式 (境界値問題)	102

8.4 偏微分方程式（初期値問題）	103
演習問題	105

第9章 有限要素法

9.1 平面応力問題	106
演習問題	110

第10章 境界要素法

10.1 弾性ばね上の梁	112
10.1.1 間接法	113
10.1.2 直接法	114
10.2 偏微分方程式（2次元）の解法	116
10.2.1 直接法（ラプラスの方程式）	116
10.2.2 間接法（板曲げ問題）	119
10.2.3 ガウスの積分公式	119
演習問題	121

第11章 確率・統計

11.1 標本の任意抽出法	123
11.2 データの統計処理	124
11.3 母数および母集団分布の推定	126
11.3.1 母集団の平均値および標準偏差	126
11.3.2 母集団分布と超過確率・非超過確率	126
11.3.3 区間推定法	128
11.4 検定	129
11.4.1 平均値の検定	129
11.4.2 2組の標本の平均値および分散の検定	130
11.4.3 分布形の検定	132
11.5 標本数の決定法	133
11.6 分散分析法	135

11.6.1 一元配置法	135
11.6.2 二元配置法	139
11.7 破壊確率	142
11.8 モンテカルロ法	145
11.8.1 正規乱数	145
11.8.2 任意分布の乱数	146
演習問題	147

第12章 多変量解析

12.1 2変量の解析	148
12.1.1 相関図	148
12.1.2 最小2乗法	149
12.1.3 相関係数	150
12.2 多変量解析 (3変量の場合)	151
12.2.1 回帰平面	152
12.2.2 重相関係数	153
12.2.3 偏相関係数	155
12.2.4 主成分分析	155
12.2.5 判別関数法	160
12.2.6 クラスタ分析	162
12.3 数量化理論	163
演習問題	163

第13章 スペクトル解析

13.1 確率過程	164
13.2 線スペクトルとパワースペクトル	166
13.2.1 線スペクトル	166
13.2.2 パワースペクトル	168
13.3 線形システムの応答	172
演習問題	174

第14章 計画法

14.1 線形計画法	175
14.1.1 図解法	175
14.1.2 シンプレックス法	176
14.1.3 シンプレックス表	183
14.1.4 パラメトリック解析	185
14.2 非線形計画法	186
14.2.1 ニュートンの方法	186
14.2.2 非線形計画問題の線形化	188
14.3 動的計画法	188
14.4 ネットワークプランニング	191
14.5 待ち行列	193
演習問題	199

付録

参考文献

演習問題の略解

索引

序 論

1.1 本教科書の対象範囲

土木工学の分野における実務において、ある技術的な仕事（問題）が与えられたとき、その解決方法は、図 1.1 に示すように分類できる。現象が既知の問題は、教科書、ハンドブックおよび設計示方書などを用いて解決できる。未知の現象では、模型実験（あるいは統計データの収集）を行ったり、理論解析により解決できる。本教科書では、土木工学の分野で一般に用いられる理論解析法や統計データの処理方法について簡単に述べる。

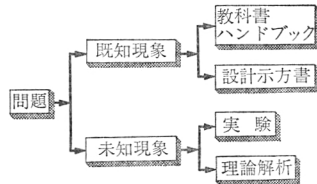


図 1.1 問題解決の方法

1.2 未知現象の解明方法

現象が定性的にわかっている場合には、その現象を再現できると思われる数学モデルを考える（図 1.2 参照）。数学モデルとは、“数式で表した仮定である”，と定義できる^[5]。この数学的なモデルを解くことによって数学的な解を得る。この解は実験等により検証することが必要である。この数学モデルにより実際の現象が実

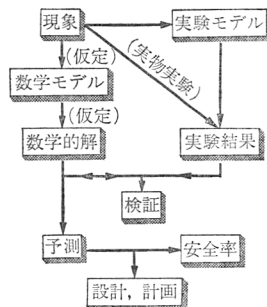


図 1.2 未知現象の解明方法

用上問題とならない程度の誤差範囲で再現できることがわかれば、この数学モデルを用いて与えられた問題の解が予測できる。さらに、この予測結果に安全率の概念を導入することによって、構造物を設計したり、道路計画などを立てることができる。

1.3 数学モデル

図 1.3 に示すように、数学モデルは、物質的なモデルと非物質的なモデルに

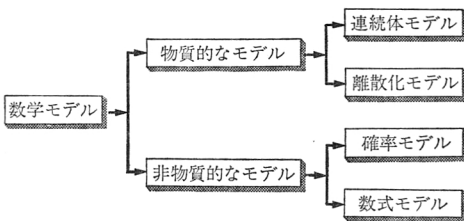


図 1.3 数学モデルの種類

大別できる。

物質的なモデルとは、固体、流体および粉体など具体的な物質が対象となるモデルであり、非物質的なモデルは、確率とか費用とか形をもたないものを対象とする。

物質的なモデルは、さらに、連続体モデルと離散化モデルに分けられる。連続体モデルとは、たとえ物質の中に寸法あるいはその物理的性質に不連続な箇所が存在していても、それを平均化し不連続がないものとしたモデルであり、逆に離散化モデルでは、連続体であっても、それを離散要素の集合体としてモデル化するので、要素間の境界では不連続が存在する。

確率分布など確率・統計に関するモデルを確率モデルという。また、線形計画法の場合などのように数式で表現した数学モデルのように、対応する具体的な物質が存在しないようなモデルは数式モデルといえるかもしれない。確率モデルと数式モデルは、非物質的なモデルというカテゴリーの中に入れることができる。また、確率モデル以外のモデルを確定モデルという。

図 1.4 にモデル化の例を示す。同図 (a) のように、自動車荷重が作用する橋梁の設計においては、図 (b) のような数学モデル (力学モデル) が用いられる。実際の自動車荷重 L は、集中荷重 $P_L(1+i)$ と等分布荷重 $q_L(1+i)$ に、橋の自重は、等分布荷重 q_D にモデル化される。ここに、 i は車の動的な効果を考慮した割増し係数である。橋の断面は橋軸方向に変化するので、橋は

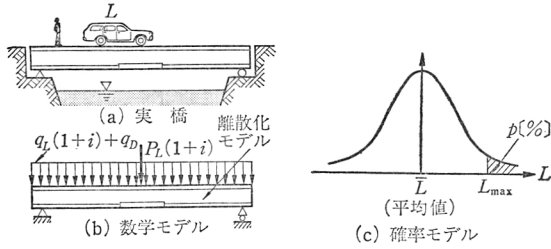


図 1.4 モデル化の例

単純支持の変断面梁（離散化モデル）にモデル化される。なお、自動車荷重 L に対しては図 (c) のような確率モデルを考え、非常に小さい超過確率 p に対応する大きな荷重 L_{max} が用いられる。

1.4 現象の見方および種類

現象の見方は図 1.5 のように分類できる。一つは、オイラー的な見方とラグランジュ的な見方である。たとえば、流れの挙動を明らかにするのに、1つ1つの流体粒子の挙動を追跡するのが、ラグランジュ的な見方であり、空間の固定点での各瞬間の流れを観測するのが、オイラー的な見方である。

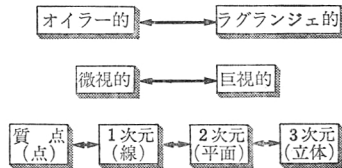


図 1.5 現象の見方

次に、微視的な見方と巨視的な見方がある。微小要素を考え微分方程式を導く方法は、全体のエネルギーなどを考えて基礎式を導く変分法（第4章）などに比較して、微視的である。しかし、微分方程式を導く方法も、物質の粒子や分子のレベルから見れば、巨視的な方法であるといえる。

最後に空間的な見方がある。図 1.5 に示すように、質点の挙動から立体構造物の挙動まで四つの空間的な見方が考えられる。構造物はすべて3次元であるが、工学的にはその現象を2次元、1次元、あるいは質点の挙動として取り扱えばよい場合が多い。

現象の種類は図 1.6 のように分類できる。まず、線形な現象と非線形な現象

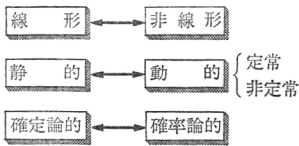


図 1.6 現象の種類

がある。現象が線形式で表されるものが線形現象であり、そうでないものが非線形現象である。土木工学の分野では、現象が線形であると仮定して解析できる問題が多い。次に、静的な現象と動的な現象がある。時間によって変化する

現象が動的な現象で、そうでないものが静的な現象である。動的な現象は、さらに、定常と非定常に分けられる。振幅や周期など現象の本質的な要素が時間とともに変化しない現象を定常といい、そうでないものを非定常という。最後は、確定論的な現象と確率論的な現象である。ある条件を与えれば常に一定の解が得られるような現象が前者で、無数のばらつきのある解が得られるような現象が後者である。

1.5 土木工学の分野で用いられる各種解析法

土木工学の分野でその解法によく応用数学が用いられる現象あるいは問題、およびそれらの解析法をまとめて表 1.1 に示す。解析法の簡単な説明も同表に示すが、その詳細については本文中で述べるのでここでは省略する。

1.6 土木応用数学に関する参考書

本教科書では、土木に関する例題を中心に、表 1.1 に示した解析法が簡単に説明されている。各解析法が奥深い内容をもっており、この本にそれらのすべてを含めることは不可能である。したがって、ここでは土木で用いられる応用数学にはどんなものがあり、それがいかに用いられるかを簡単に述べることにする。良い参考書がたくさんあるので、興味をもたれた分野があれば、その分野の参考書を読まれ、その分野の知識をさらに深められることを期待する。そういった分野の数をふやすことにより、ますます土木応用数学に対する興味も増してくるものと考え。さらに数学モデルの作り方や解析結果の工学的な考察についても、紙面の都合で、それぞれの専門分野の教科書に譲ることにした。

表 1.1 土木工学の分野でよく用いられる解析法

現象あるいは問題	解析法	解析法の簡単な説明
構造物の静的挙動	常・偏微分方程式	微分方程式を直接解く方法
構造物の動的挙動	ラプラス変換	微分方程式の一解法
座屈強度	フーリエ解析	微分方程式の解を無限三角級数で表す
波 動	複素関数論	流れの解析によく用いられる
水の流れ	積分方程式	微分方程式の基本解を用いて領域内の積分問題を境界上での積分問題に置換する
土の圧密	変分法（リッツ法など）	領域全体のエネルギーや誤差を最小にする解を近似的に求める方法
拡散（温排水，工場排水）	ガレルキン法	変分法を用いて微分方程式を解く方法
(以上，すべてに関して線形問題と非線形問題がある)	差 分 法	微分方程式を離散化し数値的に解く方法
	マトリックス構造解析	コンピュータ向きの構造解析法
	有限要素法(F.E.M.)	変分原理に基礎をおく2, 3次元問題向きの数値計算法
	境界要素法(B.E.M.)	積分方程式の数値計算法
道路計画，駐車場計画 製作用および工程管理	線形計画法 (非線形計画法)	多くの制約条件の基に，ある関数の最大(最小)値を求める方法(すべて線形式で表せる場合が線形で，そうでない場合が非線形)
	動的計画法	段階的に判断が必要な問題の最適解を求める方法
	ネットワークプランニング	工事等の工程管理を(確率的に)行う方法
	待ち行列法	料金所で待つ車の列などについて，確率的に取り扱う方法
自動車，風，地震荷重の特性 確率データの処理 実験データの処理 多変数の確率データの処理 交通量調査	統計処理(一変数)	度数分布，平均値，標準偏差など
	確率分布のあてはめ	統計データの数式化
	相 関 解 析	二つ以上のデータの相互関係を調べる
	多変量解析(重相関係数，偏相関係数，主因子分析，判別関数，クラスター分析)	多くの確率変数からなる現象の特性を調べる方法
	実験計画法(分散分析法)	ある確率変数とその現象に影響を与えるかどうかを調べる方法
	スペクトル解析	時間的あるいは場所的に変化する確率変数の主成分を分析する方法
	モンテカルロ法	ある確率分布に従う確率変数を理論的に発生させ数値実験的に問題を解く方法

微分方程式

2.1 常微分方程式

図 2.1 に示すような等断面の梁に等分布荷重 q [kgf/cm] と軸方向圧縮力

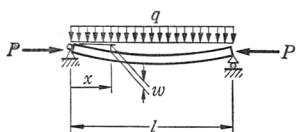


図 2.1 等分布荷重と圧縮力を受ける梁

P [kgf] が作用している場合について取り扱う。まず最初に、 P が 0 の場合を考える。梁の曲げ剛性を EI [kgf \cdot cm²] とすると、梁のたわみに関する 4 階常微分方程式が次式で与えられる^{[43],[57]}。

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} = q \quad \text{または} \quad EI w_{,xxxx} = q \quad (2.1)$$

ここに、 $w_{,xxxx}$ は x に関する w の 4 階微分を表す。

ここでは微分方程式をいかに解くかを目的にしているので、式の意味などについては深く考えず先に進んでもらいたい。

式 (2.1) の両辺を x に関して 4 回積分すると

$$w = \frac{q}{24 EI} x^4 + C_1 x^3 + C_2 x^2 + C_3 x + C_4 \quad (2.2)$$

$C_1 \sim C_4$ は積分定数であり、式 (2.2) は式 (2.1) の一般解という。積分定数を梁の両端の条件、すなわち、境界条件を用いて決定すると、いま考えている問題の解、すなわち、特殊解が求まる。

$w_{,xx}$ はたわみ曲線の曲率を表し、図 2.1 のような形で梁がたわむときその符号は負となる。 $-w_{,xx}$ に EI をかけると、梁を曲げようとする断面内の

		重み付き残差法	114	逆変換	66, 73
	〔あ〕			級間変動	137
アセンブル	84		〔か〕	休日解	178
圧密係数	28, 57	χ^2 (カイ 2 乗)分布		級数解	53
圧密現象	28		126, 133, 135	求積法	15
アローダイヤグラム	191	ガウスの積分公式	119	級内変動	137
アンサンブル	164	回帰曲線	149	境界条件	6
安全性指標	143	回帰平面	152	幾何学的な——	46
安定	43	階級	125	境界値	125
		——値	125	——問題	102
	〔い〕	階級の引き下げ	7	境界要素	118
板曲げ剛性	30	解析的な複素関数	37, 40	共分散	150
板曲げ問題	29	拡散問題	28	共役複素数	169
一元配置法	135, 136	角速度	34	行列	79
1 次独立	177	確定モデル	2	極	74
1 次変換	19	確定的な現象	4	——座標	30
一様乱数	123	確率過程	164	巨視的な見方	3
一定要素	118	確率変数	122	寄与率	158
一般解	6, 10	確率密度関数	126		
一般化座標	18, 91	2 次元正規——	143	〔く〕	
移動定理	67	確率モデル	2	区間推定法	128
因子	135	確率論的な現象	4	クラスター分析	162
		過減衰	14	グリーン関数	70
	〔う〕	重ね合せの原理	58		
上三角マトリックス	85	片側スペクトル密度関数	170	〔け〕	
運動方程式	22	可能基底解	178	系統抽出法	123
オイラーの——	22	ガレルキン法	48	結合点	191
		間隙水圧	28, 57	原関数	66
	〔え〕	間接法	113, 119	減衰	13
F 分布	126, 131	完全形な微分方程式	38	減衰振動	14
エイリーの応力関数	28	ガンマ関数	128	臨界——	14
エルゴード性	165	ガンマ分布	126	原像	66
演算子法	10				
	〔お〕	〔き〕		〔こ〕	
オイラー定数	32	Q 法	171	合成法	146
オイラー的な見方	3	幾何学的な境界条件	46	剛性マトリックス	78, 82
オイラーの運動方程式	22	棄却法	146	全体の——	84
オイラーの公式	9	期待値	126	構造変数	177
オイラーの微分方程式	44	基底ベクトル	177	後退差分	96
		帰無仮説	130	交通密度	197

コーシー・リーマンの条		シンプレックス法	176	相関図	149
件式	37	信頼区間	129	像関数	66
誤差関数	48			双曲形偏微分方程式	19
誤差変動	137	[す]		相対度数	125
コレスキー法	84	水準	135	相反作用の定理	70
固有関数	9	水頭	26	層別抽出法	123
固有振動周期	34	数学モデル	1	速度ポテンシャル	21, 39
固有振動モード	34, 89	数式モデル	2	複素——	40
固有多項式	89	数量化理論	163	そり	25
固有値	9, 157	スタージェスの式	125		
固有ベクトル	89	ステップ関数	68	[た]	
固有方程式	88	スペクトル密度関数	171	第1変分	43
		片側——	170	第1種ベッセル関数	32
[さ]		両側——	169	対数正規分布	126
サービス率	195	[せ]		体積圧縮係数	57
最小2乗法	149	正規分布	126	第2種ベッセル関数	
最早結合点時間	192	対数——	126	(ノイマン関数)	32
最大勾配法	186	標準——	128	第2変分	43
最遅結合点時間	192	正規乱数	145	対立仮説	130
最適政策	189	正則な複素関数	37	楕円形偏微分方程式	19
座屈荷重	7, 9	静的な現象	4	多段抽出法	123
座屈モード	9	制約条件	175	多変量解析	151
座標変換	30	制約領域	175	ダミー	191
差分	96	積分因数	38	グランベールの解	20
——スキーム	104	積分公式	119	たわみ性マトリックス	88
		ガウスの——	119	単位マトリックス	80
[し]		積分定数	6	探索法	186
自己相関関数	164, 165	絶対積分可能	61	単純任意抽出法	123
自己定常過程	165	線形計画問題	175	端点	175
指数分布	126, 195	線形な現象	3		
実験計画法	135	線形要素	118	[ち]	
写像関数	41	前進差分	96	中央差分	96
自由振動	13, 47	全数調査	122	抽出法	123
重相関係数	154	線スペクトル	166	中心極値定理	192
自由度	92	全体の剛性マトリックス	84	中立	44
周波数応答関数	173	全微分方程式	38	超過確率	128
集落抽出法	123	積分可能な——	38	調整変数	177
主成分分析	155	全変動	137	調和解析	59
常微分方程式	6	線密度	19, 27	直接法	114, 116, 146
初期条件	13			直交関係	46, 90
初期値問題	103	[そ]		直交変換	156
進行波	21, 25	像	66	[て]	
浸透流	26	相関関係	149	t分布	126, 128
シンプレックス規準	180	相関係数	150	定常	4
シンプレックス表	178, 183				

—流 37

定常確率過程 164, 196

デュアメルの重畳積分 71

デルタ関数 69

転置マトリックス 82

〔と〕

等角写像 41

等確率円 144

同次線形微分方程式 7

透水係数 26, 57

到着率 193

動的計画法 188

動的な現象 4

特殊解 6, 10

特性多項式 89

特性方程式 9, 88

閉じた解 53

度数

——分布図 125

凸集合 176

飛移現象 43

〔な〕

流れ関数 39

〔に〕

二元配置法 135, 139

2項分布 126

2次元正規確率密度関数 143

2乗平均値 165

ニュートンの運動の第2法則 22

ニューマークの β 法 101

ニュートンの方法 186

ニュートン・ラフソン法 94

任意抽出 122

〔ね〕

ねじり関数 26

熱拡散率 27

熱伝導方程式 19, 26

熱伝導率 27

ネットワークプランニング 191

〔の〕

ノルム 90

〔は〕

Hamming 法 171

破壊確率 142

波動方程式 19

ハミルトンの原理 45

パラメトリック解析 185

梁の曲げ剛性 6

汎関数 42

判別関数法 160

パワースベクトル 168

〔ひ〕

非エルゴード性 165

非回転流 39

微視的な見方 3

微小振幅波 21

ヒストグラム 125

非線形計画法 186

非線形な現象 3

非超過確率 127

非定常 4

比熱 27

非還元抽出法 123

微分方程式 7, 17, 32, 38, 44

オイラーの—— 44

完全形な—— 38

同次線形—— 7

ベッセルの—— 32

連立線形—— 17

標準化変換 128

標準正規分布 128

標準偏差 125

母集団—— 126

標本数 124

——の決定法 133

標本調査 122

標本標準偏差 125

標本分散 125

標本平均値 125

標本変動係数 125

開いた解 53

〔ふ〕

不安定 44

風波 171

フーリエ級数 52, 54

フーリエ係数 54

フーリエ積分 60, 61

フーリエ展開 54

フーリエ変換 62

不規則過程 164

還元抽出法 123

複素関数 36

解析的な—— 37, 40

正則な—— 37

複素線積分 74

複素速度ポテンシャル 40

複素フーリエ積分 61

不偏分散 126

分散 165

——値 125

——の検定 131

——比 138

——分析表 138

分布形の検定 132

〔へ〕

平均値 165

平均値の検定 129, 130

平面応力問題 28

べき級数を用いる微分方程式の解法 16

べき乗法 92

ベクトルの直交性 90

ベッセル関数

第1種—— 32

第2種—— 32

ベッセルの微分方程式 32

変関数 42

偏差値 159

変数分離 8

——解 23

——形 27, 56, 57

偏相関係数 155

変動係数 125

標本—— 125

偏微分方程式	18, 102, 103	マルコフ過程	196	ラプラスの方程式	
——の一般解	20	まるめ誤差	87		19, 22, 25, 116
双曲形——	19			ラプラス変換	66
楕円形——	19	[み]		乱数	146
放物形——	19	未定係数法	12	——表	124
変分	43			[り]	
——法	42	[も]		力学的な境界条件	48
第1——	43	モーダルアナリシス	92	力学モデル	2
第2——	43	目的関数	175	離散化モデル	2
		モンテカルロ法	145	リッツの方法	46
[ほ]				流跡線	37
ポアソン分布	126, 194	[や]		両側スペクトル密度関数	169
放物形偏微分方程式	19	ヤコビアンマトリックス	30	利用率	197
層別抽出法	123			留数	74
母集団	122	[ゆ]		臨界減衰振動	14
——標準偏差	126	有意水準	129		
——平均値	126	有意抽出	122	[る]	
補助方程式	10	有義波	171	累積分布関数	127
母数	122	有限要素	106	ルンゲ・クッター法	98
				ルンゲ・クッター・ギル法	101
[ま]		[よ]			
Manning 法	171	余関数	10	[れ]	
曲げ剛性	6			連続体モデル	2
板——	30	[ら]		連立線形微分方程式	17
梁の——	6	ラグランジュ関数	45		
待ち行列	193	ラグランジュ乗数	156	[わ]	
マトリックス	79	ラグランジュ的な見方	3	ワイブル分布	126
マハラノビスの距離	161	ラブラシアン	22		

—著者略歴—

1968年 大阪市立大学工学部土木工学科卒業
1973年 大阪大学大学院博士課程修了
1973年 大阪大学助手
1978年 大阪市立大学講師
1980年 工学博士（大阪大学）
1981年 大阪市立大学助教授
1984年 英国ロンドン大学・インペリアルカレッジ
客員教授
1999年 大阪市立大学教授
2002年 大阪市立大学大学院教授，現在に至る
専門分野：橋梁工学

土木応用数学

Mathematics for Civil Engineering

© Toshiyuki Kitada 1986

1986年 9月 30日 初版第1刷発行
2002年 11月 25日 初版第5刷発行

検印省略

著者 ^{きた}北 ^だ田 ^{とし}俊 ^{ゆき}行
大阪府寝屋川市郡元町 14-19

発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来辰巳

印刷所 富士美術印刷株式会社

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 4-339-05041-5
Printed in Japan

(清文社，愛千製本所)



無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替えいたしません