

序文

イタリアの画家で建築家のジョルジョ・ヴァザーリは、古典的名著『画家・彫刻家・建築家列伝』¹で、レオナルド・ダ・ヴィンチについて次のように述べている。

彼の名声は非常に高まり、生前だけでなく死後も、世に広まり続けたのであった。

実際、レオナルドはルネサンス期には芸術家、技術者、発明者として、イタリアやフランスなどのヨーロッパ諸国で有名になっていた。彼の名声はその死から数世紀で世界中に広まり、今日に至るまで衰えていない。

私は数十年前からレオナルド・ダ・ヴィンチの天才性に魅了され、この10年は彼の有名な手稿のファクシミリ版に書かれた、科学的な記述の調査を行ってきた。2007年に出版した彼に関する最初の著作『レオナルドの科学』（“*The Science of Leonardo*”）では、彼の人生と個性、科学的方法、芸術と科学の融合について紹介している。この2冊目の著作ではさらに一步踏み込んで、レオナルドの科学的研究の主要分野である流体力学、地質学、植物学、力学、飛行の科学、および解剖について、21世紀の科学的視点から詳しく論じた。これらの分野における彼の驚くべき発見や業績のほとんどは、一般にはまったく知られていない。

レオナルド・ダ・ヴィンチは今日の科学用語で言う^{システム}体系的思考の持ち主だった。彼にとって、ある現象を理解することは、パターンの類似性を通してそれを他の現象と結びつけることだった。いくつかのプロジェクトに同時に取り組み、ある分野での理解が進むと、それに応じて関連分野のアイデアを修正した。

そのため、彼の天才性をきちんと評価するには、彼の思考が、関係ないようで実際には互いに関連している複数の学問分野で進化していったことを、理解して

¹ [訳註] 日本では抄訳として『ルネサンス画人伝』、『続 ルネサンス画人伝』などがいずれも白水社から出版されている。

おく必要がある。私はこの方法でレオナルドの科学的思考を受け入れ、理解してきた。この30年間に科学分野で登場してきたシステム思考的な生命観の探究に携わり、それに関する数冊の著作を書いてきたため、この視点からレオナルドの科学を分析し解釈することは、私にとってとても自然なことだった。それどころか、自分が彼の業績に引きつけられるきっかけとなり、これほどの長きにわたって魅了され続けているのは、彼の文章や素描、絵画において、関連性やパターン、特性、変容が常に強調されている——システム思考の紛れもない証拠である——からだと信じている。

レオナルドの科学の全分野と彼の素描や絵、文章による「示^{デモンストレーション}説」(彼はそう呼んでいた)を調査してわかったのは、彼がどんな時でも、最も根本的なレベルで生命の本質を理解しようとしていたことだった。「彼の科学は生きている形態」の科学であり、彼の芸術は、生命の内部にある秘密を探求し続けるのに役立っていた。レオナルドは、自然の生きている形態を描写するには、それらにもともと備わっている性質や基本的な原理に関する科学的知識が必要だと感じていた。また、自分の観察結果を分析するには、それを描写する自分の芸術的才能が必要だとも思っていた。私はこうした必要性が重なったことが、彼による科学と芸術の融合の本質だと考えている。

レオナルドは自分のことを、芸術家であり、かつ自然哲学者(当時は科学者をこう呼んでいた)であるだけでなく、発明家だとも思っていた。そして、発明家とは、さまざまな要素を自然にはない新しい形に組み立てることによって、人工物や芸術作品を創造する者のことだと考えていた。この定義は、ルネサンス期には存在しなかった、現代のデザイナーの概念に非常に近い。実際、私は典型的なルネサンス人であるレオナルド・ダ・ヴィンチの幅広い活動について調べるには、芸術、科学、および設計^{デザイン}の3つのカテゴリーが最適だと考えるようになった。この3つの分野すべてで、彼は自分の師として、またモデルとして生物を利用している。実際、手稿を調べるにつれて、レオナルドはシステム思想の持ち主というだけでなく、驚いたことに生態学者でエコデザイナー²でもあったことがわかってきた。

レオナルドが自分の芸術や科学、設計の中心に生命を置こうとし続けたこと、すべての自然現象は根本的に互いに関係し依存しあっていると認識していたことは、今日の私たちがレオナルドから学ぶことのできる重要な教訓だ。したがって、

2 [訳註] 環境保全と経済性に配慮したデザインの設計者。

レオナルドによる科学と芸術の融合は知的な意味で魅力的であるだけでなく、私
が本書の第9章で主張しているように、現代とも大いに関係がある。

ここ数十年間、レオナルドの手稿の研究者は、それらを無秩序で混沌としている
と考える傾向があった。しかし私自身は、レオナルドの心の中では、彼の科
学に混乱などなかったと感じている。彼の手稿には、最終的にすべての研究を1
つの理路整然としたものにまとめる方法についての、自分自身に宛てた多数のメ
モがある。これらの手掛かりに従って、私は本書の題材を、レオナルドの考えた
通りだと思われる構成で配置した。実際のところ、「水の運動」、「機械工学の原
理」、「人間の形態」といった数章のタイトルは、レオナルド自身が使おうとして
いたものである。

自然現象に対するレオナルドの考え方は、一部は伝統的なアリストテレス学派
と中世の思想に、一部は自然に対する彼独自の非常に注意深い観察に基づいてい
た。その結果は、生きている形態とそれらの絶え間ない運動や変化、変容に関す
る独自の科学であり、ガリレオやデカルト、ニュートンの科学とは根本的に異なっ
ていた。

その根底にある基本的な思想は、全体としての自然は生きており、地球という
大宇宙（マクロコスモス）のパターンとプロセスは、人体という小宇宙（ミクロ
コスモス）のそれらと類似しているというものだった。私はレオナルドの科学的
研究の内容を、マクロコスモスまたはミクロコスモスでの自然の形態と変容とい
う、2つの大きなカテゴリーに分類した。この2つは本書の第1部と第2部を
構成している。

マクロコスモスに関するレオナルドの科学の主なテーマは、水と空気の運動（第
1章）、生きている地球の地質学的形態と変容（第2章）、植物の多様性と成長パ
ターン（第3章）だった。ミクロコスモスでの主な焦点は人体の美しさと比率（第
4章）や運動の力学（第6章）、それに、人体を他の動物の動いている体、特に
鳥の飛翔と比較することだった（第7章）。

レオナルドはデカルトと違って体を機械とは見なさなかったが、動物と人間の
解剖学的構造には機械工学の基本的な知識がないと理解できない機械的機能が関
わっていることを、はっきりと認識していた。そのため彼は自らに対し、「機械
工学の原理とその実践に関する項では、人間と他の動物の運動と力の示説を先
に行うこと」というメモを書いている。私はレオナルドのアドバイスに従うことに
した。そのため本書も、「機械工学の原理」（第5章）の次に「人体の運動」（第6章）
を配置するように構成されている。

前にも述べように、レオナルドの（芸術だけでなく科学における）最終目標は、生命の本質を理解することだった。このためまぬ探求は心臓と血管の解剖学と、老年期に行った発生学の研究で頂点に達した。そこで彼の科学に関する私の分析では、人体における生命の神秘に対するレオナルドの探求（第8章）を、最後のハイライトとした。

書き言葉では直線的にしか話を進められないため、互いに関係する現象——例えば、水の乱流のパターンから、気流や鳥の飛行、音の性質や楽器のデザイン——の間をせわしなく動く、レオナルドのとりとめのない心を追いかけるのは容易ではない。その作業をなるべく簡単に進められるように、私は自分の作品では、レオナルドの手稿と主なレオナルド学者の著作を多数取り上げるだけでなく、相互に参照できるようにしてきた。さらに、レオナルドの人生と業績の簡単な年表を作成し、彼が常に複数のプロジェクトに同時に関わっていたことを示した（p. 314を参照）。

私は本書と前の著作で、レオナルド・ダ・ヴィンチが15～16世紀に行った100以上の科学的発見について論じている。以後のページでは、彼が行った約50の最も重要な発見と、他の科学者が何世紀になってからそれらを再び発見したのかを表に示した。この概略図を見れば、非常に多くの科学分野における、レオナルドの先駆的な天才性をはっきりと知ることができるだろう。

レオナルドは自分の発見をまったく発表しなかったし、定期的に連絡を取っていた自然哲学者や数学者、技術者、医師などの知識人との文通も記録に残っていない。彼がこうした交際仲間と話しているときに、自分の洞察や研究方法について打ち明けたと仮定することはできるが、彼の科学的業績がその後の世代の科学者に直接影響を及ぼしたという証拠はない。

今日、複雑性やネットワーク、構成パターンを重視し、生命を系統的に理解する新しい方法が発展するのに伴って、私たちはレオナルドの「生きている形態の科学」と非常によく似た「性質の科学」が、少しずつ出現するのを目の当たりにしている。17世紀の科学革命の担い手がレオナルドの手稿を研究していたら、西洋の科学はどのような発達を遂げていたのだらうと思わずにはいられない。

ガリレオやニュートンや彼らの同時代人が取り組んでいた問題は彼らの手紙などからはっきりしているが、それらの多くは1～2世紀前にレオナルドが気付いたり、解明したりしていた問題と同じものだった。しかも、彼らは同じような比喻を使い、同じような方法で推論しているので、現代の私たちよりずっと容易にレオナルドの手稿の記述を理解できただらう。彼らがレオナルドの発見に気付

いていれば、科学の発展はおそらくまったく異なる道のりをたどることになり、科学的思考に対するレオナルド・ダ・ヴィンチの影響は、美術史への影響と同じくらい重大なものとなっていたかもしれないのだ。

フリッチョフ・カプラ

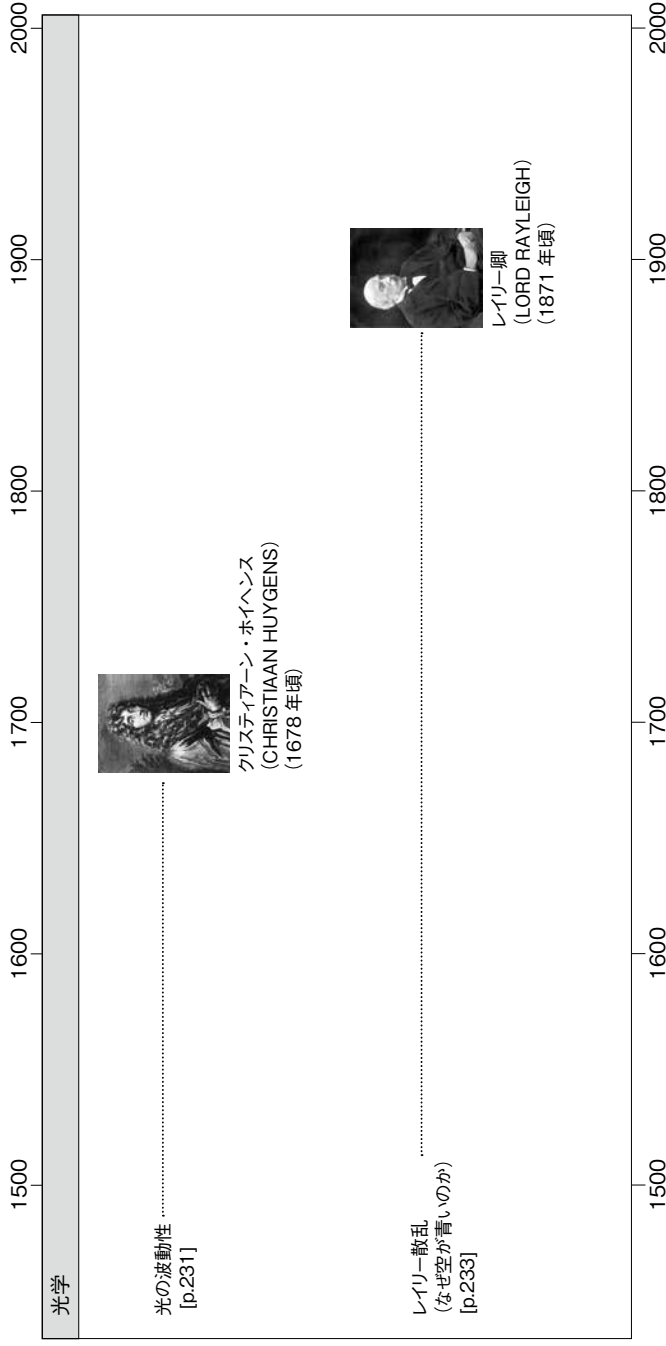
バークレイ

2013年2月

科学的発見の対照年表

以後の図表では、レオナルド・ダ・ヴィンチが15～16世紀に行った最も重要な科学的発見と、他の科学者がそれらをもう一度発見したおおよその時期を示した。これらの発見については、本書で論じているページは丸括弧 () で、同じように私の前著『レオナルドの科学』(“*The Science of Leonardo*”) で論じているページは角括弧 [] で示した。

レオナルドによる1485～1515年の発見



レオナルドによる1485～1515年の発見

1500 1600 1700 1800 1900 2000

音響学



音の波動性
[p.231] マラン・メルセンヌ (MARIN MERSENNE) (1636年頃)



クラドニ図形 (振動板上の粉末)
[p.235] エルンスト・クラドニ (ERNST CHLADNI) (1787年頃)

流体力学



ダニエル・ベルヌーイ (DANIEL BERNOULLI) (1738年頃)



流れの普遍性 (物質と無関係なもの)
[p.30]

1500 1600 1700 1800 1900 2000

レオナルドによる 1485 ~ 1515 年
の発見

流体力学

流れの可視化
(薬粒、色素など)
(p.32)



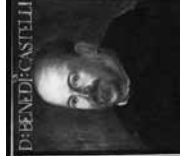
オズボーン・レイノルズ
(OSBORNE REYNOLDS)
(1883 年頃)

粘性
(p.38)



アイザック・ニュートン
(Sir ISAAC NEWTON)
(1687 年頃)

連続性の原理
(質量の保存)
(p.41)



ベネデット・カステッリ
(BENEDETTO CASTELLI)
(1628 年頃)

2000

1900

1800

1700

1600

1500

2000

1900

1800

1700

1600

1500

レオナルドによる1485～1515年
の発見

流体力学

水の渦の力学
(p. 42)



ヘルマン・フォン・ヘルムホルツ
(HERMANN VON HELMHOLTZ)
(1858年頃)

リチャードソン・ガスケット
(渦の大きさの縮小)
(p. 45)



ルイス・リチャードソン
(LEWIS RICHARDSON)
(1922年頃)

レイノルズの乱流分解
(p. 50)



オズボーン・レイノルズ
(OSBORNE REYNOLDS)
(1895年頃)

2000

1800

1700

1600

1500

2000

1900

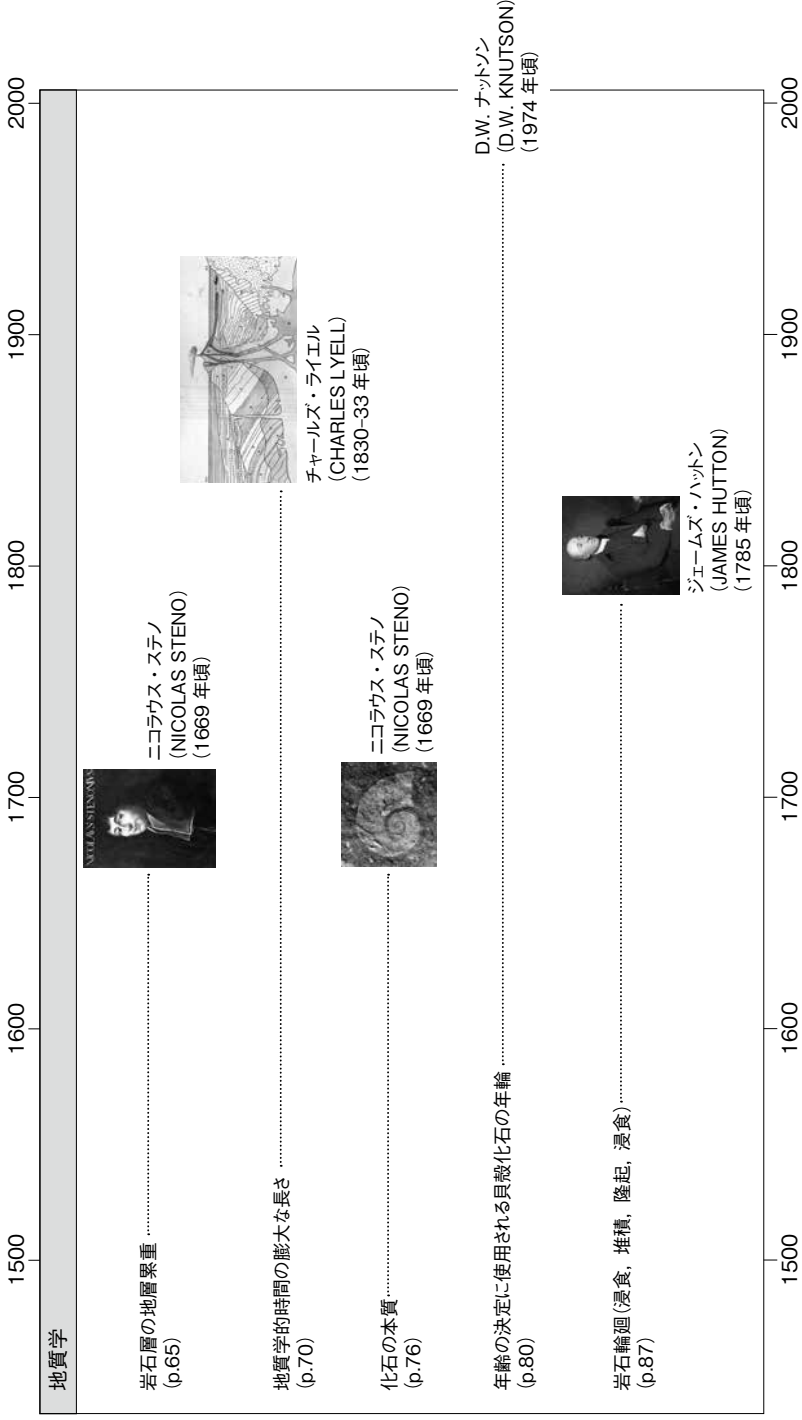
1800

1700

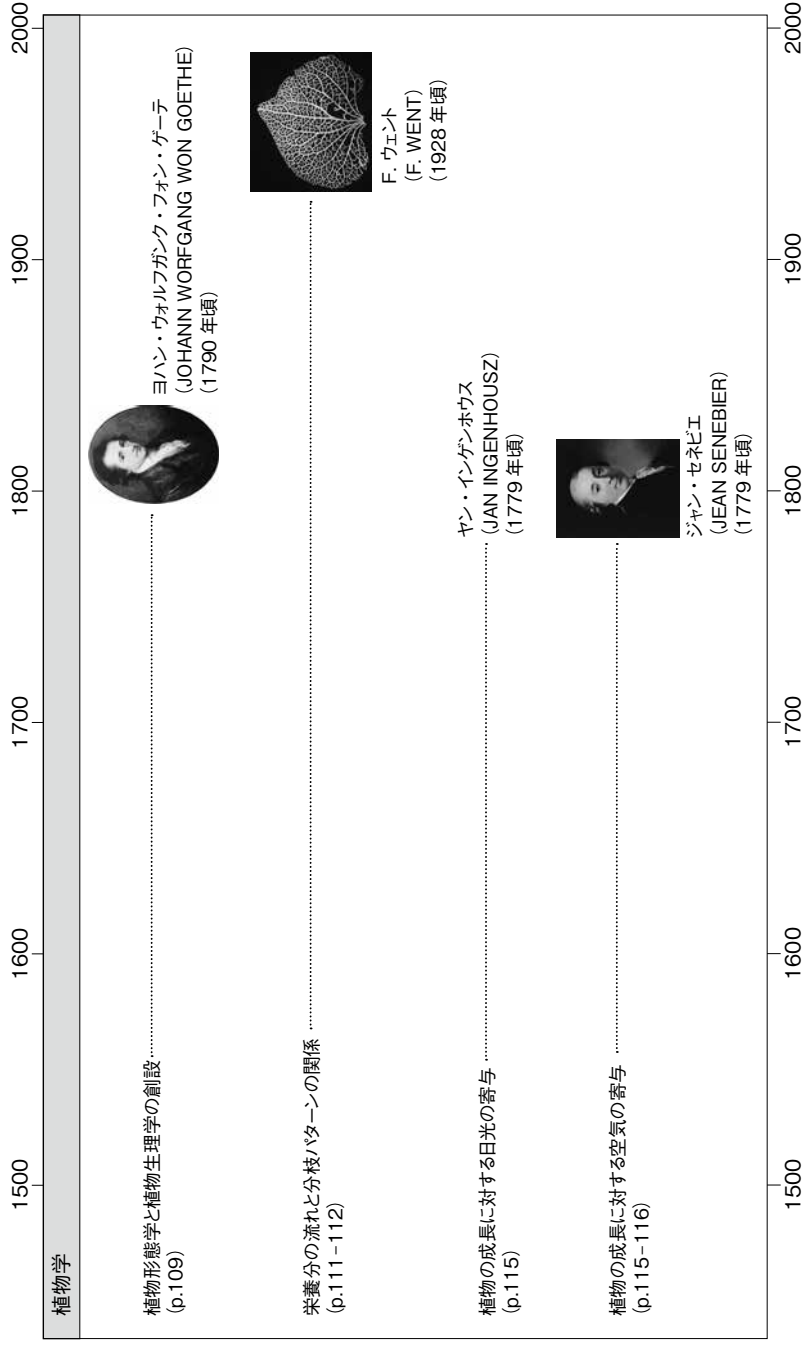
1600

1500

レオナルドによる1485～1515年の発見



レオナルドによる1485～1515年の発見



レオナルドによる 1485 ~ 1515 年
の発見

1500 1600 1700 1800 1900 2000

植物学

屈性
(刺激に応答した植物の屈性)
(p.116)



チャールズ・ダーウィン
(CHARLES DARWIN)
(1880 年頃)

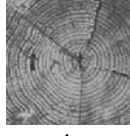
ホルモンによる植物の成長の調節
("生命の樹液")
(p.116)

P. ボイセン・イエンセン
(P. BOYSEN-JENSEN)
(1913 年頃)

幹の光が当たる側から暗い側への
樹液(オーキシンの)移動
(p.119)

F. ウェント
(F. WENT)
(1928 年頃)

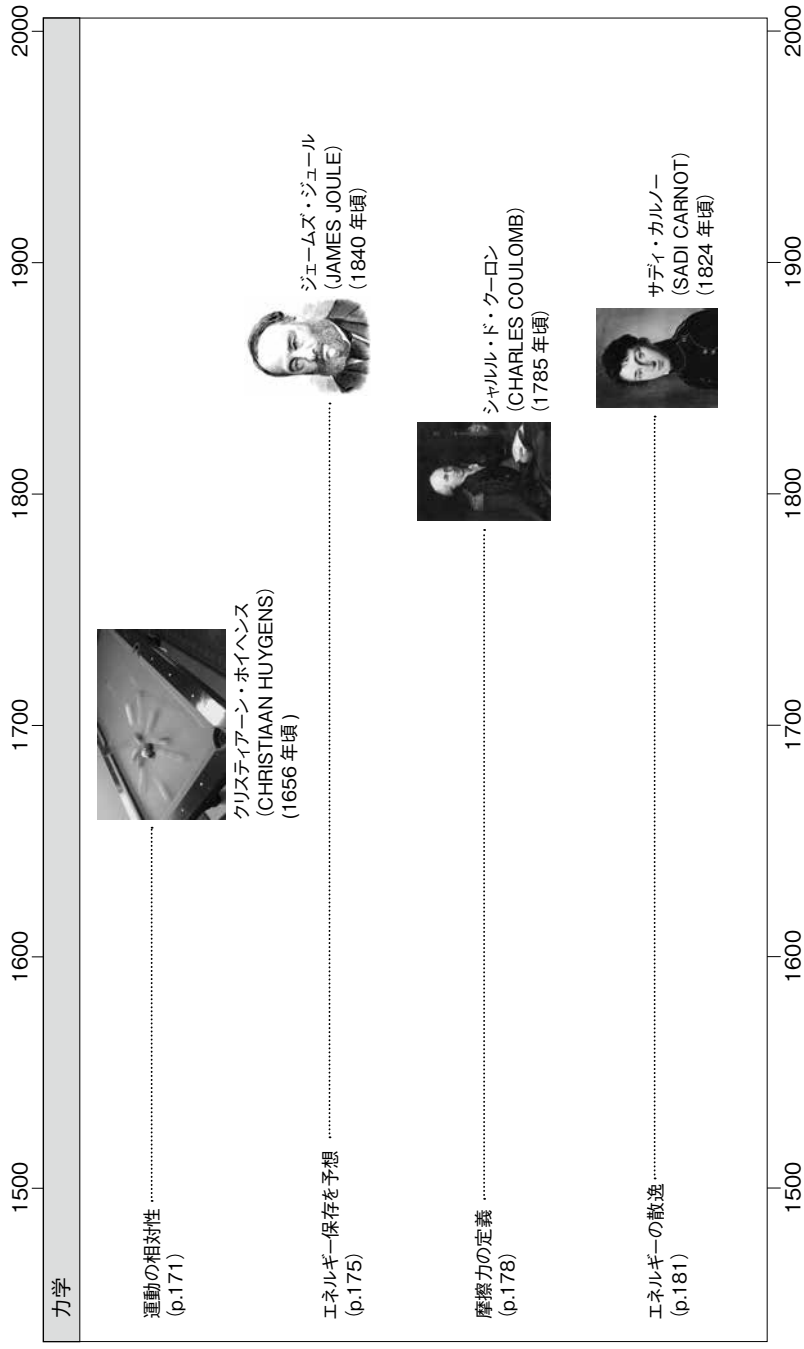
雨の多い年と乾燥した年の年輪
(p.117)



A. E. ダグラス
(A. E. DOUGLAS)
(1937 年頃)

1500 1600 1700 1800 1900 2000

レオナルドによる 1485 ~ 1515 年
の発見



レオナルドによる 1485 ~ 1515 年
の発見

力学

「時間の矢」を予想
(不可逆的過程)
(p.181)

自由軌道の放物線状の性質
(p.188)

ガリレオ・ガリレイ
(GALILEO GALILEI)
(1609 年頃)

ニュートンの運動の第 3 法則:
作用 = 反作用
(p.192)

アイザック・ニュートン
(Sir ISAAC NEWTON)
(1687 年頃)



アーサー・エディントン
(ARTHUR EDDINGTON)
(1928 年頃)



2000

1900

1800

1700

1600

1500

2000

1900

1800

1700

1600

1500

レオナルドによる1485～1515年
の発見

空気力学

空気力学：飛翔の科学の適切な基礎
(p.254)



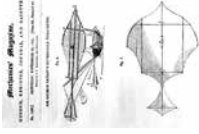
ジョージ・ケイリー
(GEORGE CAYLEY)
(1809年頃)

風洞の原理
(p.255)



フランシス・ウエナム
(FRANCIS WENHAM)
(1871年頃)

鳥の翼の周囲での密度分布
(p.256)



ジョージ・ケイリー
(GEORGE CAYLEY)
(1810年頃)

2000

1900

1800

1700

1600

1500

2000

1900

1800

1700

1600

1500

レオナルドによる 1485 ~ 1515 年
の発見

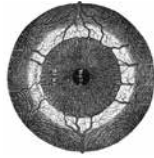
1500 1600 1700 1800 1900 2000

人体の解剖

瞳孔括約筋
[P.240]



フレデリクス・ルイシ
(FREDERIK RUYSCH)
(1691 年頃)



心臓の心房
(p.280)



ウィリアム・ハーベー
(WILLIAM HARVEY)
(1628 年頃)

心臓の能動運動としての収縮
(p.283)

ウィリアム・ハーベー
(WILLIAM HARVEY)
(1628 年頃)

心臓の能動運動としての収縮



G. キュルシュナー
(G. KÜRSCHNER)
(1850 年頃)

乳頭筋とその腱索
(p.281)



大動脈洞(ノバルサルバ洞)
の発見
(p.288)

アントニオ・バルサルバ
(ANTONIO VALSALVA)
(1710 年頃)

1500

1600

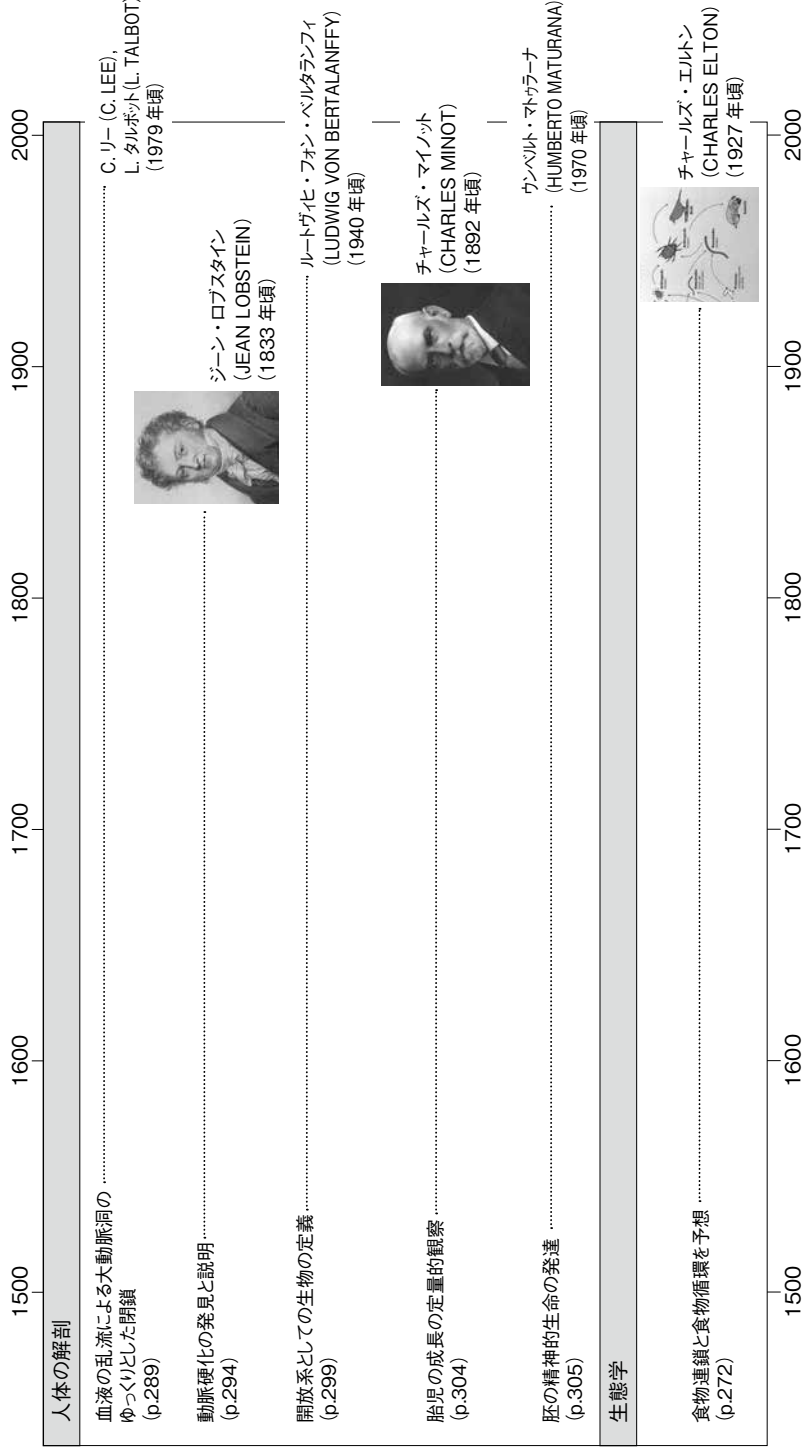
1700

1800

1900

2000

レオナルドによる1485～1515年
の発見



目次

序文	vii
科学的発見の対照年表	xiii
プロローグ レオナルドの天才性	1
容赦ない好奇心と知的な大胆さ	2
高度な集中力と細部への注意力	3
全体的記憶 (Holistic Memory)	3
レオナルドの経験的方法	4
システム思考	7
現代へのインスピレーション	9
第 I 部 マクロコスモスの形態と変容	13
第 1 章 水の運動	15
生命の運搬者, 母体としての水	15
自然界の液体の形態	18
動力源としての水	20
水の循環	21
水力工学から流れの科学的研究へ	28
現代の流体力学	30
河川と潮流, 波と流れ	32
流れの原理	35
水流の測定	39
水の渦	42
乱流	44
水の上に落ちる水	50
水と空気の乱流	53
螺旋の形	55
第 2 章 生きている地球	61
地球の骨, 肉, 血液	61
山や谷の形の変化	64
レオナルドの地図	66
地質学的な時間	70
岩窟の聖母	72
化石の謎	76
山々の形成	81
レオナルドの地殻変動論	84
遠い地質学的過去	89

第3章 植物の成長	93
螺旋運動	94
自然をもとに描いた多くの花	98
画家にとっての植物学	101
古代からルネサンスにかけての植物学	104
植物学者としてのレオナルド	107
分枝のパターン	110
植物の成長	114
第II部 間人の形態と変容	121
第4章 人間の形態	123
解剖学的研究の順序	123
美と比率	128
ウィトルウィウスの人体図	133
比率と調和	136
レオナルドとヴェサリウス	139
第5章 機械工学の原理	147
機械工学の「高貴な」役割	147
身体は機械なのか?	148
レオナルドの機械	152
重さの科学	156
平衡状態の流体	160
力と運動——概念の迷路	166
自然の4つの「能力」.....	168
運動の本質	170
力と運動	172
エネルギーの保存	175
消費の運動	178
重さと力と運動	182
落下する物体	184
弾道軌道	188
物理的な力の起源	190
力と運動と仕事	192
衝撃——自然の第4の能力	194
第6章 人体の運動	203
体のさまざまな運動	204
ルネサンス期の解剖学	208
古典的な医学文献	210
解剖学的素描と解剖	216
骨と関節	219
筋肉と腱	224

筋肉と神経	231
第7章 飛行の科学	237
比較解剖学	237
レオナルドの「進化論的」思考	239
飛行の夢	240
気圧と揚力	242
生物の模倣	248
鳥の飛翔	250
レオナルドの空気力学	254
鳥の飛翔に関する手稿	257
風の科学	266
第8章 生命の謎	271
人間の心臓	273
ガレノスの心臓と血流	277
レオナルドによる心臓の解剖学	279
血液の「流れと逆流」.....	283
生命精気	286
体内での血液の流れ	291
消化系と身体の代謝プロセス	296
生命の本質	299
人間の生命の起源と初期発生	300
レオナルドの芸術における生命の謎	306
第9章 レオナルドの遺産	311
レオナルドの一生と作品に関する年譜	314
原註	324
レオナルドの手稿	339
参考文献	341
レオナルド研究のリソース	345
写真著作権者	346
索引	347

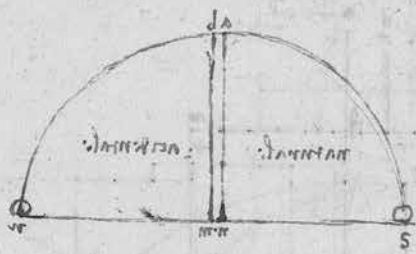
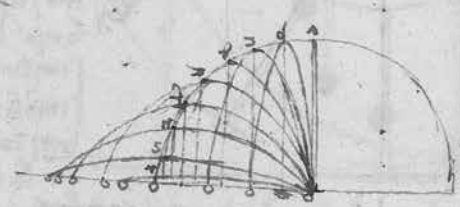
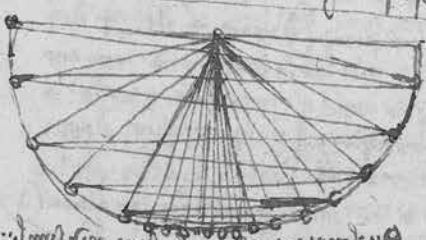


Diagram with labels and text in Hebrew script, possibly describing the geometry of the semi-circle above.



Column of text in Hebrew script, likely a commentary or explanation related to the geometric diagrams.

Column of text in Hebrew script, continuing the commentary or explanation.



Column of text in Hebrew script, continuing the commentary or explanation.

Final column of text in Hebrew script at the bottom of the page.