

はじめに……………1

初章 限界値を超えた地球環境問題……………15

プラネタリー・バウンダリー……………15

ヨハン・ロックス・ストロームによる提唱……………16

限界値を超えた気候変動、

生物多様性の損失率、土地利用の変化、窒素およびリンによる汚染……………17

地球環境問題は全体性を把握しなければならない……………19

第1章 「人新世」の地球環境問題の本質

——物質と生命がともに循環しなければ地球環境は維持されない……………21

第1節 いろいろな地球環境問題……………21

気候変動……………21

オゾン層の破壊……………23

酸性雨……………25

水質汚染……………26

海洋汚染……………27

森林減少……………29

砂漠化……………31

生物種の急激な減少……………32

環境問題は土地利用と密接に関係する……………34

第2節 物質と生命がともに循環して地球環境は持続する……………36

地球の成り立ち……………36

地球環境保全の仕組み……………37

物質と生命の循環……………39

人間活動の影響が自然の許容量の限界を超えてしまった……………41

エントロピーの観点からみた現在の地球環境問題……………42

なぜ物質と生命が循環しなくなったのか……………43

第3節 なぜ対応が遅れたのか——気候変動を例に……………43

温暖化を感知することはむずかしい……………43

やっと危機認識が高まった……………45

問題が生まれる前に、予期することに失敗	47
問題が生まれたとき、感知することに失敗	47
解決にはグローバルな取り組みが不可欠	50
2℃と1.5℃の違い	52
IPCC特別報告書	53
パリ協定は成功するか	54
第4節 文明と環境 ……………56	
古代文明が示す環境問題	57
中近世の環境問題	60
公害が環境問題であった時代	61
今日の環境問題	62

第2章 文明が持続するための働きかけ……………66

第1節 環境と経済と社会の統合——SDGs ……………67	
「持続可能な開発」とその系譜	67
SDGsの特徴	72
日本政府の取り組み	73

第2節 人類が育んできた叡智を習う——日本からの発信 ……………74	
叡智が育まれて文明は持続してきた	74
欧米が驚嘆した江戸時代の日本の循環型社会	75
水土の知	77
農業農村工学会「新たな〈水土の知〉の定礎について」の提唱	79
日本から世界へ発信する	81
新たな〈水土の知〉が展開されるために	82

第3章 私たちは地球環境問題に対応できるのか……………87

第1節 人口増加は止まるのか ……………88	
「人口」は地球環境問題の重要な課題である	88
人口増加を支えた食料生産	89
人口増加は、世界全体では鈍化していく	89
第2節 資源浪費型社会から脱却できるか ……………91	
資源が文明を規定してきた	91
資源は循環しにくい	92
資源の利用が地球環境問題の根幹にある	93

対策1	プラネタリー・バウンダリーを超えて資源を利用しない	93
対策2	3 R	94
対策3	開土面・開水面を保全し、循環を促進し、自然の恵みを増強する	100

第4章 環境倫理 どう考えていくべきか……………102

第1節 環境倫理とは……………102

人間は自然と共生する存在……………102

技術進歩への基本認識……………103

持続可能な行動が必要……………103

長期的視点をもつこと……………104

問題認識、解決責任のグローバルな共有……………105

第2節 これからの方向……………106

物質と生命の循環……………106

人口増加問題……………106

経済成長……………107

足るを知る……………109

AIなどの問題……………110

第5章 地球環境問題の最大の課題は農業……………111

第1節 農業と地球環境の密接なかわり……………111

地球環境問題の根源は農業にある……………111

農業が地球環境に与える影響と農業に求められる対応……………113

農業が環境と調和した文明だけが生き残ってきた……………113

第2節 90億人を養えるのか……………115

これまで増加した人口を地球は持続的に養うことができるのか……………115

これから増加する人口を養うことができるのか……………117

第3節 日本の国土に窒素・リンがあふれている……………118

【窒素】

窒素と生命……………118

自然界における窒素の循環……………119

窒素と地球環境問題……………120

窒素と農業……………122

窒素循環からみた耕種農業の課題と対応……………124

窒素循環からみた畜産の課題……………126

【リン】

リンと生命 130

リンと農業 132

自然界におけるリンの循環 133

リン酸肥料の課題 135

日本におけるリンの収支 136

資源のリサイクルによりリンの消費量を削減する 137

リン資源を守る観点から農業生産を見直す 138

畜産廃棄物を堆肥などとして積極的に利用する 140

第4節 生命が循環しなければ物質は循環しない……………141

地球上の生物はすべて先祖を同じくし、つながっている 141

これまでにない絶滅の危機を迎えている 142

なぜ絶滅するのか 143

生物の恵みを受け続けるために 144

国際的な取り組み 145

日本の取り組み 146

農村地域における取り組み例 147

循環を持続するためには生物多様性が不可欠である 149

第5節 気候変動による農業への影響……………151

気候変動の態様 151

各地域で気候変動への適応策を 152

農業に密接に関係する気候変動 152

気候変動の日本農業への影響とそれへの適応策 154

第6章 健全で活発な農業生産を……………158

第1節 世界の食料事情が緊迫するなかで国民を養っていけない……………159

日本農業は国土を十分に利用しなくなり、活発でない 159

なぜ活発でなくなったのか 160

なぜ農業生産の大宗を担う経営体が育成されてこなかったか 161

ずっと食料を海外に依存し続けることはできない 164

第2節 日本の農業は物質と生命の循環を阻害している……………166

日本農業は健全に営まれていない 166

なぜ健全でなくなったか 168

農業は温室効果ガス排出を削減できるか 169
 林業も農業と同じく健全でも活発でもない 172

第3節 健全で活発な農林業生産が不可欠である……………174

持たざる国のバイオキャパシティが活用されず、地球環境に負荷を与えている 174
 安全保障、国土経営、地球環境のために、健全で活発な農林業生産が不可欠である 175
 いくつかの試みがあるが、進んでいない……………176
 いくつかの試みがなされている 176

しかし進んでいない——環境保全型農業を例に 178

日本の農業は発展できる余地がある 180

過疎化がさらに進む 180

農業生産の大宗を担う経営体の確保策がみえない 181

第5節 施策を総合化する……………183

地域で各種施策を総合化する 183

市町村は対応できるか 185

第6節 公的支援と社会資本整備……………186

健全な農業は経済成長とデカップリングできない 186

公的支援を体系化する 188

社会資本を整える 190

第7節 地域でコモンスを育み、ビジョンを共有する……………191

域際収支を均衡させる 191

「循環」を披露する 193

コモンスを育み、ビジョンを共有する 195

第7章 農業から地球環境問題に展望を拓くいくつかの試み……………198

第1節 本来の畜産に可能な限り回帰する……………199

循環型社会の形成は健全な農業生産活動から 199

本来の畜産 200

国土の草資源で何頭飼えるか 201

水田転作で飼料を作り、水田地帯で畜産経営を 203

条件不利農地・耕作放棄地・林間・河川敷などで放牧する 204

第2節 木質バイオマスを健全に循環させる……………206

的確な森林施業のもとでの森林の成長量を知る 206

木質バイオマスを熱利用する 207

間伐を促進して炭酸ガスを吸収し、産出された木材をカスケード利用する 209

都市林も活用する

211

健全な林業も経済成長とデカップリングできない

211

第3節 気候変動に備え水利システムを恒常的に見直す……………212

気候変動による農業への影響と対策

212

水利システムに求められる要求性能は変化している

215

水利施設も劣化する

217

日本型コモンズは存続できるのか

219

終章 日本農業が先頭に立ち、地球環境問題に取り組もう……………222

おわりに……………225

Seneca21st 話題一覽……………227

著者略歴……………231

初章

限界値を超えた地球環境問題

プラネタリー・バウンダリー

物事は直線的に変化するのではなく、ある限界値を超えると、一気に上昇したり下降したりすることが知られている。この限界値、一気に変化が起きる転換点をティッピング・ポイント (tipping point) という。「最後のワラ一本がラクダの背中を折る」などの西欧の諺がこれであり、商品の売れ行き、感染症の流行、シンギュラリティー (singularity) ・人工知能 (AI) が人類の知能を超える転換点 (技術的特異点、またはそれがもたらす世界の変化)、地球規模の気候変動など例は多い。

38億年前に生命が誕生した地球の環境システム (エコシステム) は、太陽に対する地球の位置関係の変化や小惑星との衝突など、宇宙の影響による大変化を幾度となく経験し、現在の安定した状態に至っているが、近年の人類の活動は、これまでの宇宙の影響に匹敵するような規模で、地球環境システムに大きな変化をもたらそうとしている。

プラネタリー・バウンダリー (Planetary Boundary) とは、地球の機能を制御するさまざまなシステムが、人類の望まない状態に急変しうる生物物理学的限界を示すもので、たとえば、気候、水環境、生態系などが本来もつ回復力の限界を超えると、突然に転換点を超え、ある均衡状態から別の均衡状態に不可逆的に移行する限界値を表す。

ヨハン・ロックストロームによる提唱*

スウェーデンのストックホルム・レジリエンス・センターのヨハン・ロックストローム教授は、地球が安定的かつ回復可能な状態で安全に機能する範囲内で、人類の繁栄と経済成長を実現できる新しい発展のパラダイムを必要としているとの認識から、プラネタリー・バウンダリーの定量化を試みている。

彼は、地球環境システムの主なプロセスを次の九つに絞り込み、この9種類の限界値について監視していくこと、そして九つのうち七つについて具体的に定量化した限界値（プラネタリー・バウンダリー）を2009年に専門誌Natureに投稿している。なお、これら九つのプロセスは相互に関連していることは言うまでもない。

九つのプロセスは、その機能により三つのグループに分けられる。

第1グループ 明確に定義された地球的な限界値があるプロセス、すなわち、ある状態か

ら別の状態へ急激に移行し、地球全体に直接に影響しうるプロセス

気候変動

成層圏オゾン層の破壊

海洋酸性化

第2グループ ゆるやかに変化する地球環境にかかる変数にもとづく限界値が含まれ、それらは地球環境システムの基本的な回復力を支えている。地球規模の変動よりは、比較的限定された地域の限界値に結びついている

土地利用の変化

淡水の消費

生物多様性の損失率

窒素およびリンによる汚染

第3グループ 人間が作り出した脅威で安全な限界値を設定するのにさらなる研究が必要

化学物質汚染

大気汚染またはエアロゾル負荷

限界値を超えた気候変動、生物多様性の損失率、土地利用の変化、窒素およびリンによる汚染

ロックストロームはその著書で、次のように述べている。

CO₂の大気中濃度については350 ppm以下という限界値を提示している。しかし、すでに大気中のCO₂濃度は399 ppmと限界値をはるかに超えており、破滅的な転換が起こる可能性がきわめて高い。

生物多様性の損失については、産業革命以前の平均絶滅率は年間100万種当たり0・1〜1であるが、18世紀半ばの産業革命以降、年間100万種当たり100以上に達している。種の絶滅がこのレベルで継続すると、多くの生態系が機能し続ける能力を失うおそれがあり、それに依存する人間社会にとっても不都合な状態になる。

生物多様性の損失、淡水の枯渇、炭素吸収源の減少などが各々の限界値を超えないように、耕作やその他の開発しうる土地の限界値は凍結していない地球の地表面の15%以下、重要な生物圏を維持するために必要な最小限の森林面積は熱帯雨林の85%、北方林（カナダ、アラスカなど、北緯45度から70度に分布する亜寒帯林）の85%、温帯林の50%と提唱しているが、すでに限界値を超えている。

窒素とリンの過剰使用は、海洋生態系を富栄養化し、深刻な無酸素現象や酸欠海域を引き起こすおそれがある。安全な限界値は年間4400万t以下の窒素の生産だが、現在の窒素生産量は年約1億5000万tで、限界値を大きく超えている。

筆者らは、日本農業土木総合研究所に在職中の2005年に窒素循環の問題を取り上げ^{*3}、またWebサイトSenecaInst¹でも、2008年に窒素循環^{*4}を、2015年にリン循環を取り上げ^{*5}、窒素とリンの問題を提起したが、ほとんど話題になることはなかった。しかし、ロックストロームが「窒素とリンが『地球の限界』を超す4分野の一つになっている」と指摘したことに、あらためて驚きと納得を禁じえなかった。

地球環境問題は全体性を把握しなければならない

地球環境問題のそれぞれの項目／システムは個々に議論されることが多いが、その対応には相互に関連するものが多く、個別にはなく全体性を捉えて議論されることが大事である。

ロックストローム^{*6}は、九つのプロセスはお互いに関連しており、一つのプロセスが限界値を超えるとそのほかの限界値がシフトする可能性が高い。たとえば気候変動の限界値を超えてしまうと、生物多様性などのほかの限界値も維持できなくなってしまう可能性が高く、すべてのプロセスが限界値内にとどまる必要があると述べている。

また、「私たちは、かつて大きな地球の小さな世界に住んでいた。いまや、私たちは、小さな地球の大きな世界に住み、地球に大きな影響を与えながら暮らしているのだ。それゆえに、プラネタリー・バウンダリーを尊重しなければならないのである」と指摘している。

人新世時代の到来と対応を指摘しているといえよう。