

2022 年 11 月 23 日

水工学の今後 10 年の研究課題に関する議論について

土木学会 水工学委員会

1. 今後 10 年の研究課題を考える動機

気候変動による降水強度等の変化に対応するため、2021 年 5 月に流域治水関連法が公布、11 月に施行され、今後の治水政策の枠組みが大きく転換した。水工学の分野でも気候変動影響評価に関する研究成果が多数出され、研究領域が拡大している。

新たな課題に加えて従来から未解決となっている課題も多数ある。今の延長上では解決できないと考えられる問題もある。水工学以外の分野との連携なしには解決できない課題もある。科学として何がわかっていて何がわかっていないのか、目標とする現象理解や技術への到達を阻むボトルネックは何か、ボトルネックを解消するために何に着手すべきか、優先的に実施すべきことは何か、すぐには解決できなくても将来の発展性が期待できることは何か、などを議論することは、水工学の広がりや水工学の進展を相互に理解するために有効であり、若い研究者にこの分野の魅力を示すためにも重要と考える。

次に企画される水理公式集には、未解決の課題に対する水工学の進展を記載し、合わせて気候変動影響評価や流域治水に資する内容を反映させて社会の要請に応えたい。そのため、今後 10 年間さらにその先を見据えて、この一年間、水工学が取り組むべき研究課題を、以下のように議論してきた。

- 水工学に関する研究者・技術者の誰もが参加して、今後 10 年の研究課題について議論する。メールやオンラインの意見交換会を通して意見を共有する。
- グローカル気候変動適応研究推進小委員会では、気候変動や様々な環境変動要因、それらが水理・水文現象に及ぼす影響とそれらへの対策に関する関係を議論している。連関表作成と協力して、水工学の未解決問題と解決を阻むボトルネックをあぶり出す。
- これらの内容を取りまとめるために、水工学講演会期間中に開催するアゲールシンポジウムの機会を用いて対面形式で議論する。
- 議論した内容を文書にまとめる。また、日本学術会議が公募中の「学術の中長期研究戦略」に応募する。

2. 第一回意見交換会（2022 年 8 月 5 日）およびメールでいただいた主な意見

今後 10 年間を見据えて水工学が取り組むべき研究課題を議論するために、水理公式集 2018 年版の目次を参考にして今後取り組むべき課題を広く募集した。いただいた意見を整理して

第1次ドラフトを作成し、第1回意見交換会（2022年8月5日）を実施した。主な意見は以下のようであった。

- 重要な課題であるにもかかわらず、取り組む人がいないので課題が見えていない課題はないか。渇水や水循環は重要な課題が多数あるにも関わらず、扱う研究者が少ない。水工学として科学的、技術的に取り組む課題を見落としていないか。
- すでに解決済みであり、新しい課題とはならない分野が何であるかを知ること、新たにこの分野で研究しようとする若手研究者には重要な情報となる。
- 未解決課題の中で、「これまであまり研究の蓄積がないもの」と「散々取り組んだが解決しないもの」の違いを示せる仕組みにしておくが良い。水工学全体を俯瞰したときに、どのあたりにどのような性質の課題があるのかを見通すことは、この分野の魅力を示し、大事な課題に多くの人を呼び込む重要な情報となる。
- 研究を進めるにあたって、「社会に対する成果、効果」と同程度に「学術の基本に則って正しく導かれた成果、効果」を得ようとしているかも重要である。
- これから出現が予想される多くの複雑な水理現象に対して、十分に説明できない事例が多くなることが考えられる。自然界で起こっている物理現象は、個々の現象が関連したシステムとして捉えて考察すべきものが多く、そのシステムを構成する個々の現象がしっかりした学術に根差したものになっているかが重要であり、それが多いほど説明力が出る。
- 対象としている現象に対して、学術、技術の何がボトルネックになっているのか、現在用いている手法の限界はどこからきているのかを個々の現象からシステムまでを考える時に、どこまでがこれまでの手法でよくて、どこからが新しい手法でなければならないのか、また個々の現象レベルで力学的に問題がないのかを検討し、明確にしていくことが、これから10年の水工学研究には求められる。
- 現象の本質を裏切らない範囲での単純化に重きを置いた研究も必要であり、これが有効な解決手段となることも多いことを私たちは経験している。しかし、単純化のもたらす限界や、システムとしての解明が必要な時に、システムを構成する個々の現象解明の不十分さがボトルネックとなる場合が多々見られる。特に、人命に関わる問題には、複雑になっても正しい解決法を採用し、解決策を見出していく技術を支援する基礎となる学術が十分準備されなければならない。これに対応していくには、息の長い、従来の手法にこだわらない視点での研究が求められる。

3. 第2回意見交換会（2022年10月7日）およびメールでいただいた主な意見

第1回意見交換会およびメールでいただいた意見をもとに、二部構成でレポートをまとめることにした。第一部では、水工学において科学的に未解決の課題や技術的に進展させるべき課題を整理し、第二部では、これらの上に立って、次の水理公式集に掲載されるとよいと考え

られる課題を例示した。第2次ドラフトを作成し、第2回意見交換会（2022年10月7日）を実施した。主な意見は以下のものであった。

- こうした方向性で取りまとめていくことに異論はない。水工学委員会として、チャレンジングな研究を奨励し評価することが大事である。
- 研究の目標レベルは、課題によって様々である。基礎的研究と応用的研究では同一には考えることは難しい。
- 研究にはいろいろな取り組みがあってよいが、工学分野の研究として何のために行っているのか、全体像を意識した研究が必要である。現実には生じている課題の解消にたどり着かない記述が多いのではないかと。環境と防災とのバランスのとれた技術が実現するように、研究を進めてほしい。
- 治水地形、現在の河川・河道に至ったこれまでの経緯（本来の河川の流れ、被災経験、過去の技術者の視点等）を踏まえて、10年20年という短期的な視点ではなく200年500年先にどんな川にしたいのかという視点で河川整備に寄与する研究を進めてほしい。

4. レポートの構成

最終的に三部構成でレポートをまとめることにした。第一部では、水工学において科学的に未解決の課題や技術的に進展させるべき課題を整理した。整理のポイントは以下とした。

- 課題は何か。
- 現象の理解や技術開発を阻むボトルネックがどこにあるか。
- ボトルネックを解消するためにすべきこと、優先的に実施すべきこと、すぐには解決できなくても将来の発展性が期待できることは何か。

第二部では、これらの上に立って、次の水理公式集に掲載されるとよいと考えられる課題を例示した。また、第三部では、グローバル気候変動適応研究推進小委員会で取りまとめられた関連表を収録した。第二部に例示した今後の水理公式集に掲載されるとよいと考える個々の課題は、以下のフォーマットで取りまとめた。

研究課題名

- 概要：研究概要を数行で記述する。
- 結果：この研究課題の結果（アウトプット）を記述する。
- 成果・効果：社会に対する成果・効果（アウトカム）を記述する。短期間で成果を求めることは意図しない。水工学の学問分野の進展が社会に対する成果・効果に結びつく。

並行して、日本学術会議が公募中の「学術の中長期研究戦略」を水工学委員会として取りまとめ中である。

これらの取りまとめ作業は以下のメンバーで実施した。

○「水工学の今後 10 年の研究課題に関する議論」作業部会メンバー

（水工学委員会）立川、矢野、溝口、（グローバル小委）渡部（哲）、田中（智）、丸谷

（アドバイザー）中北、中山

○日本学術会議「学術の中長期研究戦略」申請様式作成タスクフォース

上記作業部会メンバーに加え、赤松、内田、田中(規)、知花、戸田、二瓶、芳村

2022 年 11 月 23 日

水工学の今後 10 年の研究課題 第 3 次ドラフト version 0

土木学会 水工学委員会

グローバル気候変動適応研究推進小委員会

気候変動による降水強度等の変化に対応するため、2021 年 5 月に流域治水関連法が公布、11 月に施行され、今後の治水政策の枠組みが大きく転換した。水工学の分野でも気候変動影響評価に関する研究成果が多数出され、研究領域が拡大している。

新たな課題に加えて従来から未解決となっている課題も多数ある。今の延長上では解決できないと考えられる問題もある。水工学以外の分野との連携なしには解決できない課題もある。科学として何がわかっていて何がわかっていないのか、目標とする現象理解や技術への到達を阻むボトルネックは何か、ボトルネックを解消するために何に着手すべきか、優先的に実施すべきことは何か、すぐには解決できなくても将来の発展性が期待できることは何か、などを議論することは、水工学の広がりや水工学の進展を相互に理解するために有効であり、若い研究者この分野の魅力を示すためにも重要と考える。

次に企画される水理公式集には、未解決の課題に対する水工学の進展を記載し、合わせて気候変動影響評価や流域治水に資する内容を反映させて社会の要請に応えたい。そのため、この機会に今後 10 年間、さらにその先を見据えて水工学が取り組むべき研究課題を議論し、現時点の内容を三部構成で取りまとめた。第一部では、水工学において科学的に未解決の課題や技術的に進展させるべき課題を整理した。第二部では、これらの上に立って、次の水理公式集に掲載されるとよいと考えられる課題を例示した。また、第三部では、グローバル気候変動適応研究推進小委員会で取りまとめられた関連表を収録した。

第一部 水工学の今後 10 年の研究課題

将来の水理公式集に掲載すべき項目として提案された項目から、水工学が取り組むべき課題を抽出した。第一部の議論の視点を以下とした。

- 課題は何か：明治中期以降、国土の高度利用を進め経済発展を図るために、治水事業・利水事業が実施されてきた。水工学はそれらの事業を科学的、技術的に支えるための学術を担ってきた。気候変動の水循環への影響の顕在化が懸念される中、水工学が学術として取り組むべき課題はどこにあるか。
 - ✓ これまで取り組んできているが未だに解決できない科学的な未解決課題は何か。新たな科学的課題は何か。
 - ✓ これまで取り組んできているが未だに解決できない技術的未解決課題は何か。新たな技術的課題は何か。
- 目標をどこに設定するか（基礎的研究、たとえば新たな「発見」がブレークスルーとなる課題では、目標の設定が難しいかもしれない。目標の設定の仕方は課題による）。
 - ✓ 科学的課題や技術的課題の現時点の到達レベルと目標とするレベルとの違いは何か。
 - ✓ 目標とする科学的理解や技術開発への到達を阻むボトルネックは何か。
 - ✓ ボトルネックを解消するためにすべきことは何か。
 - ✓ 優先的に実施すべきことは何か。
 - ✓ すぐには解決できなくても将来の発展性が期待できることは何か。

上記の視点に従って、水理公式集 2018 年版をもとに提案いただいた課題について、未解決の課題を以下に分類した。

1. 科学的に未解決の課題（素過程の解明）
2. 科学的に未解決の課題（サブシステム相互作用の理解、全体システムの理解）
3. 技術的に未解決の課題（より正確な現象の再現と予測のために未解決の技術開発）
4. 技術的に未解決の課題（社会との接点を持つ課題、特に水害リスク評価に必要となる技術開発）

1. 科学的に未解決の課題（素過程の解明）

現象の素過程を理解することが、複雑な現象を説明し予測する基礎となる。将来の水理公

式集に掲載すべき項目として提案された項目から、取り組むべき課題を抽出した。

- 豪雨の発生メカニズムの解明と予測
- 沿岸域における水蒸気量観測システムの整備とデータ同化技術
- 水位・流量データの無い河川流域にも適用できる一般的な降雨流出予測手法の開発
- 雨水が河川に到達するまでの経路を分析する新たなトレーサー水文学
- 積雪現象に伴う植生や土壌の変化メカニズムの解明と現象の予測
- 土砂生産・流出のメカニズムの解明と現象の予測
- 土砂生産・流出の流域スケールの推定はどの時間スケール、どの空間スケールで可能なのか。現象を予測するために理解されていないことは何か。どの情報があれば、どの空間スケールで、どの時間スケールで何が予測できるのか。
- 河川における土砂輸送および河床変動のメカニズムと予測
- 土砂動態のモデル化と予測。理論的に未解明の課題は何か。どのような観測データがあればモデル化が進み、予測が可能となるか。
- 破堤のメカニズムと予測
- 水理量と破堤につながる地盤パラメータの関連を明らかにする科学・技術

上記は、抽出した課題を例示したものであり、これらに留まらない。これらの課題について、現時点の到達レベルと目標との違いはどこにあるか、ボトルネックは何か、ボトルネックを解消するためにすべきことは何か、等を議論しそれを共有すると、水工学の広がりや水工学の進展を相互に理解するために有効と考える。以下は「課題：水位・流量データの無い河川流域にも適用できる一般的な降雨流出予測手法の開発」について考えた一例である。

- 課題：水位・流量データの無い河川流域にも適用できる一般的な降雨流出予測手法の開発
 - ✓ 現時点の到達レベルと目標とするレベルとの違いは何か：都市化の進んだ小流域では、ある降雨流出モデルについて土地利用ごとにモデルパラメータ値が標準化され、水文観測データの無い河川流域ではこの手法がしばしば利用されている。限定した条件下で利用できる手法である。これまで数多くの降雨流出解析法が提示されているが、流域の大きさや流域特性、流出規模に関わらず、あらゆる河川流域に適用できる一般的な降雨流出予測法は確立されていない。全国のあらゆる河川を対象として「流域雨量指数」が広く利用されるようになっているが、「雨量指数」ではなく物理的な水理量を予測し、提供する手法に発展させたい。
 - ✓ ボトルネックは何か：流域のどの流出経路を通して雨水が流出しているかを観測する手法がないこと。物理的な機構をもちモデルパラメータの物理的な解釈が可能な降雨流出モデルは、特定の河川流域でのみ構築されており、日本全国の異なる流域で同じ物理的なモデルを構築し、その再現性やモデルパラメータの頑健性を定量的に分析できていないこと。空間的に分布する流域情報（土地利用、表層土壌、基岩等）を用い

て、モデルパラメータの空間的な分布を同定する手法がないこと。

- ✓ ボトルネックを解消するためにすべきことは何か：新たなトレーサーを開発し、流域単位で雨水の流動過程を推定する観測手法を得ること。主要な水理・水文過程を物理的に表現する降雨流出モデルを日本の全河川流域、さらには世界の全河川流域に適用するための基礎データを整備すること。たとえば、（数 10m）レベルでの標高、土地利用、表層土壌、基岩情報のデジタル情報を整備すること。主要な水理・水文過程を物理的に表現する降雨流出モデルを日本の全河川流域、さらには世界の全河川流域に適用し、流域情報を用いて標準的なパラメータ値を同定する手法を開発すること。その後、流域情報から定まるモデルパラメータの頑健性や不確実性を定量的に分析すること。流出予測の再現性が確認できない場合は、モデル構造に原因があると考えられるので、流域情報ごとに標準的なモデル構造を同定する手法を見出すこと。

2. 科学的に未解決の課題（サブシステム相互作用の理解、全体システムの理解）

現象を素過程に分解し分析するだけでは地球環境に関する問題は解決しない。他の理工学分野と異なり、特に水工学分野は人間活動を組み込んだ全体システムを理解する視点を持たないと問題は解決しない。流域の水・物質動態を構成するサブシステムを総合して全体を捉え、人間活動もそれに含めてサブシステム間の相互作用や人間活動との相互作用を理解する統合型のシステムモデルを開発する必要がある。そして、その統合モデルを構築するために必要となるデータを測定する体制を組む必要がある。これらにより、未来社会の持続可能性を予測することができ、また、持続可能な未来社会を構築するための選択肢を得ることができる。この問題を解決するために取り組むべき課題は何か。現時点の到達レベルと目標との違いは何か。ボトルネックは何か。ボトルネックを解消するためにすべきことは何か。

- 流域全体の土砂動態の物理的理解とモデル化、予測は、従来から最重要の分野である。しかし、流域全体での水・土砂移動をモニタリングし、モデル化し、現象を予測することは、いまだ途上にある。全体システムの中で、サブシステムはどのように構成されるか。どのサブシステムとサブシステムが相互に関連し、全体システムに作用しているか。個々の具体的な課題は何か。何がボトルネックとなるか。
- 人間活動を含めた流域圏（流域－海域）の水・物質循環システムの理解と予測、従来から最重要の分野であり、未解明の問題が多い。全体システムの中で、サブシステムはどのように構成されるか。どのサブシステムとサブシステムが相互に関連し、全体システムに作用しているか。個々の具体的な課題は何か。何がボトルネックとなるか。
- 自然現象の相互作用だけでなく、社会と水循環や水災害の相互作用を流域システムの中に陽に捉え、さらには地球システムの中に捉え、それら相互作用の解明とモデル化を実現す

ることによって、未来予測が可能となる。全体システムの中で、人間活動や社会活動、経済活動を含めたサブシステムはどのように構成されるか。どのサブシステムとサブシステムが相互の関連し、全体システムに作用しているか。人間活動や社会活動、経済活動はどのようにモデル化され、サブシステムとして全体システムに組み込まれるのか。個々の具体的な課題は何か。何がボトルネックとなるか。

- 田んぼダム、遊水池、霞堤内の水田、その他指定されていない貯留機能維持・強化地域などにおいて、農業関係者やまちづくり関係者等との合意を得るためには、無被害湛水を水深・時間の予測だけでなく、土砂や浮遊物ゴミ堆積の予測も必要である。そのためには河川の流送土砂・浮遊物に関する研究の充実も必要である。全体システムの中で、サブシステムはどのように構成されるか。どのサブシステムとサブシステムが相互の関連し、全体システムに作用しているか。個々の具体的な課題は何か。何がボトルネックとなるか。

3. 技術的に未解決の課題（より精度の高い現象の再現と予測のために未解決の技術課題）

- 予測に必要となる観測技術とデータセット作成技術（気象、水象、地形、地盤、堤防内の土層構造等）
- 長期連続アンサンブル気象データの作成技術、バイアス補正技術
- データ同化の適用方法（気象モデル、降雨流出モデル、氾濫モデル等）、モデル誤差のモデル化手法
- より一般的な水循環モデル開発（農業や都市の水利用や一時的な貯留を含めてより精緻な人間活動を考慮したモデル）
- チューニングパラメータに依存しない降雨流出解析法、洪水流出解析法
- 氾濫解析モデルの精緻化（内外水、流体力、建築物との関連、土砂や流木・ゴミの堆積）
- 予測の不確実性の評価

上記は、抽出した課題を例示したものであり、これらに留まらない。

4. 技術的に未解決の課題（社会との接点を持つ課題、特にリスク評価に要する技術課題）

- リスク評価のためには、稀な現象を統計的に評価し得る十分な長さを持ち、かつ広域で発生する稀な現象の同時発生を評価することができる水理・水文時系列データを準備する必要がある。5km ダウンスケールされたアンサンブル気候シナリオデータがあれば問題は解決するか。
- 人口・社会経済変化、産業・生業、脆弱性を考慮した水害リスク推計の方法がない。理論がないのか、データがないのか。

- 流域全体を視野に入れた水害リスクの評価手法が必要である。どのような水工シミュレーションモデルが必要か。そのシミュレーションモデルが適切な予測結果を出すためにはどのようなデータが必要か。
- EcoDRR やグリーンインフラ、緑のダムなどのもつ治水効果の定量的評価

上記は、抽出した課題を例示したものであり、これらに留まらない。

第二部 水理公式集（2018 年版）をもとにした研究課題の例示

今後 10 年間を見据えて水工学が取り組むべき研究課題を議論するために、水理公式集 2018 年版の目次を参考にして今後取り組むべき課題を広く募集した。いただいた意見を整理した。すべての項目に渡って提案をいただいた。以下の項目に多くの提案があった。

- GCM 出力の水工学への活用
- 水理・水文現象の現地観測と現象理解（リアルタイム観測とデータ同化）
- 氾濫解析（多数の新項目を含む）
- 水害リスク評価

目次

第 1 編 水文・水理

第 1 章 流体力学の基礎

第 2 章 気象と大気・陸面水文過程

- ・気象や降水過程で未観測・未解明の現象理解とそのモデル化
- ・陸面水文過程で未観測・未解明の現象理解とそのモデル化

第 3 章 流出過程と流出解析

第 4 章 水文量の確率・統計解析

第〇章 （新項目）GCM 出力の水工学への活用

- ・大規模データの統計解析手法
- ・ダウンスケーリング
- ・アンサンブル予測

第 5 章 開水路流れ

第 6 章 管路流れ

第 7 章 噴流・密度流・混相流

第 8 章 浸透流・地下水流

第 9 章 流体力と流体振動

第 10 章 水理模型実験と相似測

第〇章（新項目）水理・水文現象の現地観測と現象理解

- ・水理・水文計測の高度化
- ・リアルタイム氾濫モニタリングと浸水・氾濫予測

- ・データ同化による洪水氾濫状態と河道・氾濫パラメータの推定

第〇章（新項目）AI 技術の活用

第2編 河川・砂防

第1章 降水予測・流出予測

- ・アンサンブル気象・水象予測

第2章 河道内洪水流の水理と解析

第3章 氾濫解析（多数の新項目を含む）

- ・氾濫解析モデルの高度化・精緻化・高速化
- ・内水氾濫と外水氾濫の統合モデル、氾濫解析と浸透流とのカップリング
- ・都市浸水における建物の影響、建物被害評価、建築物耐水評価
- ・氾濫シミュレーションモデルの構成方法と高速化

第4章 土砂生産・流出と砂防

- ・気候変動による土砂流出予測
- ・流木生産とその流出予測

第5章 流砂

- ・混合粒径河道の土砂動態解析
- ・流砂系通過土砂量モニタリング

第6章 河床変動と流路変動

- ・混合粒径河道の河床変動解析法
- ・河床材料のモニタリング技術
- ・河床変動計算の不確実性の評価
- ・維持管理と直結する河川変動解析技術

第7章 河川構造物の水理

- ・堤防強度の評価技術
- ・河道管理の水理

第〇章（新項目）水害リスク評価

- ・水害リスク推計
- ・社会－水災害相互作用の解明・モデル化と政策決定支援
- ・流域複合災害リスク評価と危機管理対策ツール
- ・まちづくり支援のための技術開発（技術と関連した制度に関する研究開発を含む）
- ・水害に対する避難活動支援技術の開発（技術と関連した制度に関する研究開発を含む）

第3編 ダム

第1章 ダムの計画と設計・管理

第2章 せきと越流頂

第3章 ダム関連構造物の水理

第4章 導流部と減勢工

第 5 章 貯水池管理

第 6 章 ダムの堆砂と排砂

第 4 編 水資源計画と上水道

第 1 章 水資源計画

第 2 章 市街地雨水流出・汚濁流出

第 6 編 流域圏環境

第 1 章 流域圏の水・物質循環システム

第 2 章 水循環と生態系

第 3 章 流域環境

第 4 章 河川環境

第 5 章 地下水環境

第 6 章 ダム貯水池・湖沼

第1編 水文・水理

第1章 流体力学の基礎

第2章 気象と大気・陸面水文過程

○気象や降水過程で未観測・未解明の現象理解とそのモデル化

研究課題：沿岸域における水蒸気量観測システムの整備と気象モデルへの同化

- 概要：陸域へ流入する水蒸気量を適切に把握するために沿岸域において水蒸気の直接・間接観測システムを整備する。
- 結果：海洋よりも人々の生活圏に近い沿岸域上の水蒸気量データが得られる。
- 成果・効果：沿岸域上の水蒸気量データを気象モデルにデータ同化することで、降雨予測の推定精度が向上する。

研究課題：固体降水量の定量的計測と地上降水への転換過程のモデル化

- 概要：0℃より上空の固体降水量の定量的計測と、気流場・温度場との相互作用による地上降水への転換過程のモデル化
- 結果：フェーズドアレイレーダー（PAR）などのボリュウムスキャン型レーダーによる定量的降水量予測（QPF）のリードタイムを長くできる。
- 成果・効果：ピンポイントで線状降水帯の停滞などを予測できるようになり、下水道管理、個人にカスタマイズされた避難情報、鉄道などの運行管理の最適化ができるようになる。

研究課題：詳細スケールの気象外力データセット開発とそのための観測・センシング

- 概要：モデル解像度の詳細化に対して、気象外力（特に湿度や放射関連）は不明なものが多い。観測やセンシングにより詳細なデータセットを整備する。
- 結果：モデル実験に十分な解像度のデータセットが得られる。
- 成果・効果：より詳細なスケールの水循環、水資源評価が可能となる。

研究課題：長期間の連続アンサンブル気候変動実験と気象・水文現象の時空間変化の物理的理解

- 概要：長期間の連続アンサンブル気候実験をデザインし、データセットを作成する。それを用いて、梅雨や台風などの気象現象が長期的な気候変動のプロセスの中で、いつ、どこで、どのように変化するかを捉え、その物理メカニズムを理解する。
- 結果：長期連続アンサンブルデータセットと気象・水文現象の理解
- 成果・効果：気候変動により、いつ、どこで、どのように気象・水文現象が変化するか、を理解することで、いつ、どこでどのような適応策を展開するかを判断する物理的な情報を提供する。

○陸面水文過程で未観測・未解明の現象理解とそのモデル化

研究課題：素過程フラックス推定の精度向上のための観測とモデル開発

- 概要：蒸発散や浸透など精度の低い観測について、正確な量を知るための技術向上を努めるべきである。また、それぞれの精度よく推定できるモデルの開発も必要である。
- 結果：各地域の水循環諸量の精度が向上する。
- 成果・効果：水資源の予測精度の向上が期待できる。地盤工学や農業、環境などの貢献も期待できる。

研究課題：積雪減少下での植生・土砂を考慮した蒸発散、浸透、流出のモデル化

- 概要：温暖化による積雪減少に伴う植生や土壌の反応は不明のことが多い。特に長期間にわたる相互影響はよくわかっていない。観測データがないため、モデルによる表現が期待される。
- 結果：数十年にわたる積雪域の環境変化を知ることができる。
- 成果・効果：水資源計画や地盤管理、森林管理の諸計画を策定できる。

研究課題：河氷の形成から融解・破壊、河道内での堆積までの現象のモデル化

- 概要：寒冷地河川では、年間約 100 日の期間で河道内に河氷が存在する。この現象について陸面水文過程では十分にはモデル化されていない。気候変動の影響を考慮する上でも河氷の現象をモデル化することが必要である。
- 結果：陸面水文過程に取り込み可能な計算負荷の小さい計算モデルの構築。
- 成果：現実 に即した現象を再現可能となり、気候変動を予測する際に精度の高い予測が可能となる。

第 3 章 流出過程と流出解析

研究課題：観測のない河川流域にも適用できる一般的な降雨流出予測手法の開発

- 概要：モデルパラメータを土地被覆、表層土壌、地質に関する情報から推定し、非観測流域にも適用できる降雨流出モデルを開発する。
- 結果：任意の中小河川を含めて、水位・流量観測情報の存在しない流域にも適用できる降雨流出モデルを構築する。
- 成果・効果：世界のあらゆる河川流域の流出予測が可能となる。日本の全河川を対象とする水位・流量予測が可能となり、水位・流量といった物理量の予測情報に基づく日本全国を対象とする新たな予警報を提供することができる。水資源開発や洪水予測の基礎情報を人類すべてが共有できる。

研究課題：農業における詳細な水利用を考慮した水循環モデルの開発

- 概要：流域治水において活用が期待されるため池や灌漑水路などの複雑な水利システムを表現可能な水循環モデルを開発する。
- 結果：農業による水利用を反映した数値実験が可能となる。
- 成果・効果：社会変化（農業変化）を踏まえた水循環評価が可能となる。

研究課題：雨水貯留浸透施設の定量的評価手法の開発

- 概要：流域治水において活用が期待される雨水貯留浸透施設の機能について、実験等に基づいた定量的評価手法を開発する。
- 結果：様々な雨水貯留浸透施設の貯留・浸透効果について定量的な評価が可能となる。
- 成果・効果：流域治水計画立案時に、雨水・貯留浸透施設の効果を適切に評価し、導入の可否の判定材料とすることができる。

第4章 水文量の確率・統計解析

研究課題：極値理論の包括的理解と多変量極値解析

- 概要：極値分布や閾値超過分布との関係性を整理し、多変量極値理論を接合分布関数等との関係性の中で整理する。多変量極値理論の洪水リスク評価への適用例を示す。確率限界法など最新の統計理論に基づいて極値の信頼区間を算定する手法を開発する。
- 結果：多流域の洪水リスクや洪水・高潮災害などの極端気象の規模と同時生起確率の関係、およびその推定誤差を定量化する。
- 成果・効果：大型台風や極端な前線性豪雨等の激甚災害によるリスクを定量化し、構造的・非構造的対策を計画する基礎資料となる。また、洪水リスク評価に限らず水理・水文分野の極端現象の同時発生に関する基礎学理となる。

研究課題：極値水文量の多次元解析による極端マルチハザードの定量化

- 概要：多変量極値理論や接合分布関数、max-stable process 等の極値の空間的なモデリングの関係性と洪水リスク評価への適用例を明らかにする。
- 結果：多流域の洪水リスクや洪水・高潮災害などの極端マルチハザードの発生確率とその推定誤差を定量化する
- 成果・効果：大型台風や極端な前線性豪雨等の激甚災害によるリスクを定量化し、構造的・非構造的対策を計画する基礎資料となる。また、洪水リスク評価に限らず水理・水文分野の極端現象の同時発生に関する基礎学理となる。気象外力の大アンサンブル化でも不確実性が残る極端マルチハザードの確率推定の根拠を与えることができる。

第〇章（新項目）GCM 出力の水工学への活用

研究課題：大規模水文・気象データの統計解析手法の開発

- 概要：水文・気象データの標本サイズに応じた確率限界法等の誤差推定方法や SLSC 等の現業基準の再訪等、データが大規模化することに対応したパラメトリック・ノンパラメトリックな解析手法とその推定誤差計算方法を開発・整理する。
- 結果：水文・気象データの量と質に応じて適切な統計解析が行えるようになる。
- 成果・効果：これまで、（特に現業の解析手法は）少ないデータを前提とした手法が整理されており、大規模データに対する推定手法はノンパラメトリックな手法が紹介されているのみである。標本サイズに応じたパラメトリック・ノンパラメトリックな解析手法とその不確実性と明らかにすることで、様々な量・質の気象再解析・予測データに対してデータに応じた適切な確率モデル推定、モデル選択、再現期間推定が行えるようになる。

研究課題：長期間連続アンサンブル気候実験データを用いた極端現象の確率・統計的解析

- 概要：非定常の長期連続アンサンブル気候実験を用いて極値水文量の非定常頻度解析を実施し、極値水文量の時間変化や地域的な違いを明らかにする。
- 結果：地域ごとに極値水文量の時間変化を出す。
- 成果・効果：気候変動により、いつ、どこで、どのように水文極値が変化するかを定量的に示し、いつまでに何を実現すべきかを判断するための情報を提供する。

研究課題：データの限られた地域で適用可能な統計的ダウンスケーリング手法の開発

- 概要：気候モデル出力値など広域を対象とする気象データの詳細化を行うには、対象地点の詳細かつ長期間の観測値が必要となる。地域によらない手法を開発することで観測データが不足する地域でもダウンスケーリングが可能となる。
- 結果：観測値の少ない地域でも詳細な再現計算、予測計算が可能となる。
- 成果・効果：気候変動リスク評価に資する情報が提供できる。

研究課題：マルチモデルアンサンブルによる将来降雨評価手法の開発

- 概要：温暖化影響評価を行うにあたり、複数の全球気候モデル（GCM）による降雨予測情報を活用する際の、各 GCM の再現性を評価し、モデル選定の指針や再現性に応じた重みを用いた確率的評価手法を開発する。
- 結果：多くの温暖化予測結果から GCM の信頼性や、各モデルの再現性を考慮した将来の極端降雨などの変動幅の算定が可能となる。
- 成果・効果：温暖化影響評価の際に活用すべき GCM の選定や、マルチモデルアンサンブルなどの手法における重みづけを行うことにより、将来の不確実性の適切な考慮が可能となる。

研究課題：将来気候アンサンブル予測計算の改良

- 概要：実現象とのバイアスの補正を行うとともに、極端現象の分析も可能となるようダウンスケーリングデータの計算数を確保する。
- 結果：計画規模の洪水等の予測に直接活用可能なアンサンブルデータセットの整備。
- 成果・効果：気候変動による外力の増大の治水計画への反映に活用可能。

第5章 開水路流れ

研究課題：実河川を意識した開水路流れの基礎現象のモデル化、さらには移動床にも反映させた現象のモデル化

- 概要：狭窄部等川幅の変化が及ぼす水理現象等基礎現象をより一般化し、さらに移動床現象にも発展させた現象の解明によって、実河川での一次元解析や二次元解析、実河川との計測結果の高度な見方ができるようにする。
- 結果：基礎現象を反映した実河川の解析モデルの提案、基礎現象を踏まえた実河川での観測方法の検討や観測結果の高度な理解

研究課題：サブグリッド渦と波の相互作用のモデル化

- 概要：乱流モデルと波のモデルの相互作用を検討する。
- 結果：乱流モデルが生じさせる高周波の波成分をモデル化し、それが伝わって境界部などの外力を検討できるようになる。
- 成果・効果：水面変動を考慮した河岸浸食や越流危険度が評価できる。余裕高に含まれる水面変動分が検討可能になる。

研究課題：自由水面乱流データを用いた河川流の内部構造予測

- 概要：最近普及が進んでいる河川のライブカメラ画像から、表面流速が評価できるようになったが、直接可視化できない河床の様子はわからない。河床で発生する乱流の一部はバースティングやボイルとして表面に現れることがある。したがって河床乱流と自由水面乱流の関係を、あらかじめ様々な河床形状パターンの下で明らかにしておけば、ライブカメラ情報よりリアルタイムの河床分布の評価が可能となる。また局所流量の予測にも役立つ。
- 結果：ライブカメラがあればその情報より、ローカルな河床分布や流速分布、流量予測計算が可能となる。
- 成果・効果：H-Q カーブに頼らず比較的信頼性の高いリアルタイムの流量評価が可能となる。

研究課題：河水変動計算モデルの開発

- 概要：寒冷地河川において河川管理および河川工事を行う上で、河水に変動を数値計算で把握することは有益である。既往の計算モデルの実河川への適用性については不十分であり精度向上が望まれている。
- 結果：実河川を対象とした計算精度が高い計算モデルの構築。
- 成果：冬期間に結氷した河川に立ち入る河川管理者、河川工事担当者に結氷現象の説明と対策を示すことができる。また、一般市民への現象の説明をすることができる。

第6章 管路流れ

第7章 噴流・密度流・混相流

第8章 浸透流・地下水流

研究課題：伏流水、地下水を利用した生物の越冬環境、避難環境、棲息環境の解明

- 概要：河川生態について、避難環境を確保した上での研究を進めているものがほとんどない。伏流水、地下水を利用した越冬環境、避難環境、棲息環境などが解明されていない。

第9章 流体力と流体振動

研究課題：非平衡状態の抵抗則と流体力

- 概要：非平衡状態における抵抗体に作用する流体力や境界の物理用量交換量を評価する。
- 結果：多くの数値解析に求められる非平衡状態においての流体力評価や壁法則評価が可能となる。
- 成果・効果：河川流や海岸の力学だけでなく、海面からの蒸発量などのあらゆる界面境界条件の非平衡則の構築に繋がり、サブグリッド成分が及ぼす大きなスケールに与える影響を評価することが可能となる。

第10章 水理模型実験と相似測

第〇章（新項目）水理・水文現象の現地観測と現象理解

〇水理・水文計測の高度化

研究課題：現象を考慮した現地観測等データ収集の在り方の検討

- 概要：現地データ収集技術、手法が高度化しているにも関わらず、横断方向に変化する河川の水位でも一点で観測した水位を断面代表観測水位とするなど現象の状況から疑問が生じる手法で観測が行われているものがある。そこで、収集対象と現場で起こっている現象、さらには、観測値を利用する際の精度と解像度も視野に入れ、現在行われている観測データ収集の在り方を検討、精査する。
- 結果：現象を踏まえたデータ取得方法の提案
- 成果・効果：利用に応じて観測技術や観測方法が決まる。特に、近年高度化した観測技術を十分活用したうえでの様々な検討（解析）が可能になる。

研究課題：水理・水文観測の高度化を念頭に置いた現象研究と実践研究

- 概要：水蒸気観測、降水観測、流量観測、水位観測、流砂観測、河床高観測など（リアルタイム）基礎物理量観測と同化ベースの現象研究と実践研究
- 結果：
- 成果・効果：

研究課題：降雨や河川水位、流量の観測誤差の定量評価

- 概要：降雨や河川水位、流量の観測誤差を定量的に評価する。
- 結果：パラメータの同定結果やシミュレーション結果の不確実性を定量的に評価することができるようになる。
- 成果・効果：同上。

研究課題：レーダー雨量計の高度化に伴う水工学の新展開

- 概要：Cバンド、Xバンドフェーズドアレイドップラー偏波レーダー化、30秒ごとに全国が立体観測化、気象庁との一体運用化などが実現することを念頭に置いた水工学の新たな現象研究と実践研究
- 結果：
- 成果・効果：

研究課題：水理計測のさらなる高度化、洪水流量観測の無人化

- 概要：河川横断面の流速分布構造の計測技術の革新的開発
- 結果：河川横断面の流速分布を瞬間的に計測することができ、流量値の高精度化に繋がる。
- 成果・効果：水理現象理解のさらなる深化とともに、数値モデルの高度化にも大きく貢献することが期待できる。

研究課題：水理計測や地上雨量観測を実施すべき場所の定量的な分析

- 概要：データ同化を実施するうえで、水理計測や地上雨量観測をもっとも効果的に実施する場所を提示する技術を開発する。
- 結果：データ同化の効果を向上させる。
- 成果・効果：予測精度の向上に寄与する。

研究課題：流域での土砂・物質動態を理解する現地観測

- 概要：洪水時のダムや海への土砂や物質の流出量をキチンと押さえるような観測態勢を整え、流域での土砂・物質動態を理解する基礎資料を整える。
- 結果：
- 成果・効果：

○リアルタイム氾濫モニタリングと浸水・氾濫予測

研究課題：リアルタイム浸水情報推定手法の開発

- 概要：防犯カメラ画像などから浸水深情報を推定する手法を構築するとともに、それらと下水道観測データなどを氾濫解析モデルに同化した浸水分布推定手法を開発する。
- 結果：大雨時のリアルタイム浸水状況が提供可能となる。
- 成果・効果：地図アプリ等に浸水状況を反映することで、外出の判断や自動車で通行できない箇所を避けるなどの意思決定に貢献する。

研究課題：リアルタイム氾濫モニタリング手法への DX の活用

- 概要：洪水氾濫時のリアルタイムモニタリング手法（いつ、どこで氾濫しているか）を開発する。
- 結果：人流・交通流を活用して氾濫モニタリングを行う。
- 成果・効果：氾濫状況が分かることにより、水防活動や住民の避難行動・誘導だけでなく、排水ポンプ車の適切な配置などに役立てる。

○データ同化による洪水氾濫状態と河道・氾濫パラメータの推定

研究課題：河道監視カメラ等を活用した河道パラメータ推定手法の開発

- 概要：CCTV などの監視画像に基づく水位・流量推定及びそれらを活用し、データ同化による河道パラメータ（粗度係数など）の推定手法を開発する。
- 結果：定期横断測量などを待たずに適時性の高い河道パラメータが得られる。
- 成果・効果：常に最新の河道パラメータにアップデートすることにより河川の流量・水位予測精度が向上し、適切な防災情報の提供が可能となる。

研究課題：リアルタイム画像分析による河川、氾濫水位の判定と洪水氾濫モデルの同化

- 概要：数多く設置されているカメラ情報の利用によって、より多くの水位データを得ることができる。場合によっては流速データを得ることもできる。より詳細な災害時のリアルタイムデータを同化したモデルの開発を進める。
- 結果：広範囲のより詳細かつ精度の高い浸水分布、流速分布を知ることができる。
- 成果・効果：避難情報に利用できる。ビッグデータ時代にふさわしい内容といえる。

第〇章（新項目）AI 技術の活用

研究課題：水理・水文現象の構成則を加味した AI 技術による現象のモデル化と予測

- 概要：物理的な構成則を考慮したニューラルネットワークである PINNs などを用いた水理・水文現象のモデリングを行うことで、学習できない現象を含む将来予測の精度を向上させる。
- 結果：例えば、河川流量観測地点における CCD カメラ映像から得られる表層流速から断面内の流速分布や断面形状、ならびに粗度係数などを推定できるようになる。
- 成果・効果：高水の流量観測などの自動化が見込まれる。

第 2 編 河川・砂防

第 1 章 降水予測・流出予測

研究課題：河川予報システムの構築

- 概要：天気予報のように河川予報を行い、情報提供を行うシステムを構築する。
- 結果：天気予報同様に河川の流量、水位の予測情報が入手できるようになる。
- 成果・効果：河川予報に基づいて、避難、農業用水の取水や河川工事、レクリエーションなどの活動に活かす。

研究課題：降雨・流出予測の長時間（2 週間）確率予測手法の開発

- 概要：長時間（2 週間）をターゲットとして確率的な流出予測手法を開発する。
- 結果：2 週間先までの流量を確率的に予測する。
- 成果・効果：ダム of 事前放流の期間を格段に長期化し、電力ダムの治水容量を発電によって確保する。

○アンサンブル気象・水象予測

研究課題：アンサンブル降雨予測情報の活用手法の開発

- 概要：アンサンブル降雨予測情報や、それを用いた流出解析結果の確率的評価手法などを確立する。
- 結果：確率情報を持ったアンサンブル降雨予測情報及び河川流量の予測値などが得られる。
- 成果・効果：大雨の発生が想定される地域や洪水が起こり得る河川と特定し、優先的に水防活動などを行うべき地域・河川などを決定する。

研究課題：アンサンブル気象予測実験と気象・水文現象の時空間変化の物理的理解

- 概要：気候モデルでは（超）多数アンサンブルの必要性がすでに一般に認知されているが、気候アンサンブルと同じ理由、つまり気象現象を確率的に把握する、気象のカオス性から予測が外れる可能性をそれでもできる限り低くする等のために、（超）多数気象アンサンブルも必要である。また、（超）多数気象アンサンブルを用いた洪水予測により洪水現象の時空間変化の物理的理解も可能となる。
- 結果：（超）多数気象アンサンブルデータによる気象・水文現象の（確率的）理解と予測精度の向上
- 成果・効果：研究が進めば徐々に線状降水帯等も含めて気象現象をある程度再現するためにどの程度のアンサンブル数が必要かの見定めが進み、これが現業アンサンブル気象予報に還元されれば、洪水予測精度もさらに上がる。

第2章 河道内洪水流の水利と解析

研究課題：土砂や浮遊物ゴミ堆積の視点もいれた洪水流の研究

- 概要：田んぼダム、遊水池、霞堤内の田んぼ、その他指定されていない貯留機能維持・強化地域などにおいて、農業関係者との合意を得るために、無被害湛水を水深・時間のみの議論だけにとどまるのではなく、土砂や浮遊物ゴミ堆積の視点もいれた研究が必要である。そのためには河川の流送土砂・浮遊物に関する研究の充実も必要である。

研究課題：モデルパラメータへの依存度の低い洪水流解析手法の開発

- 概要：多くの河川水利モデルは、粗度係数などのモデルパラメータに依存しているため、その依存度を大幅に減らす、もしくは完全に依存しない洪水流解析手法を開発する。計算効率性も考慮する。
- 結果：高解像度メッシュで、非静水圧三次元解析モデルの開発。
- 成果・効果：モデルパラメータの依存度が小さいので、将来気候においても適用可能な河川水利モデルとなり、計算負荷低減が実現できれば河川計画への適用も可能である。洪水予測における河道モデルへの適用も期待できる。

研究課題：DXによる高次の解析法の検証、観測と解析の融合

- 概要：3次元地形データ、衛星データ、多点観測データ等を活用し、高次の解析法の検証や、観測と解析の融合を図る。
- 結果：高次の解析法の精度向上、観測手法の改善につながる。
- 成果・効果：高次の解析法を用いた高精度の洪水予測の社会実装につながる。

第3章 氾濫解析

○氾濫解析モデルの高度化・精緻化（内外水氾濫モデル、下水道、地下、水田、浸透施設、道路、二線堤の組み込み）

研究課題：都市浸水に関する解析モデルの高精度化と対策の検討

- 概要：下水道や地下空間などを考慮した都市の氾濫解析に関わる研究を深化・高精度化すると共に、そのための課題の整理、対策の検討・社会実装を進める。
- 結果：都市の浸水解析に関わる解析精度が高まるとともに、解析法としての情報整備や必要な都市施設に関わるデータベース化が進む。さらに、都市浸水に関わる対策の整理・検討・社会実装も進む。
- 成果・効果：都市の浸水解析に関わる知見が深まるとともに、それを活用するための情報整備が進むため、多くの場所で十分な検討が行われる。また、対策も整理できるので、多くの都市で活用が期待される。

研究課題：氾濫解析における浸透流のカップリング

- 概要：湛水期間が長い場合などは浸透流の効果が無視できないかもしれない。
- 結果：洪水の地下水涵養などの効果が確認できる。
- 成果・効果：洪水の地下水涵養などの効果が確認できる。

研究課題：農業の水路網と田面・あぜ高さを考慮した内水外水氾濫モデル

- 概要：田んぼダムや接続水路を含む複雑な水利システムにおいて、堰板（オリフィス孔など）のコントロールの仕方を表現可能なモデルを開発する。
- 結果：農業による貯留効果を活用した流域治水の数値実験が可能となる。
- 成果・効果：大規模化して残すべき農業地帯など貯留効果を強化すべき地域が抽出可能となる。

研究課題：遊水地による水災害軽減効果の評価手法の開発

- 概要：氾濫解析モデルにおける遊水地や田んぼダムの表現方法を確立する。
- 結果：遊水地や田んぼダムを設定した際の流域内の浸水状況の変化が推定可能となる。
- 成果・効果：流域治水実現において定量的評価に基づく対策の検討に貢献する。

研究課題：二線堤・道路嵩上げ等による氾濫流制御効果の評価手法の開発

- 概要：氾濫解析モデルにおける二線堤や道路嵩上げの表現方法を確立する。
- 結果：二線堤や道路嵩上げによる大規模洪水時の氾濫流の制御効果の定量的な評価が可能となる。
- 成果・効果：流域治水実現において定量的評価に基づく対策の検討に貢献する。

研究課題：外水氾濫と内水氾濫を統合した一体型氾濫解析モデルの構築及び汎用化

- 概要：集水域から氾濫域の流域全体に関わるあらゆる関係者が協働して水災害対策を行う「流域治水」の推進のため、これまで異なる現象として扱ってきた越水・溢水等の外水氾濫と、下水道の排水能力超過や合流先河川水位の水位上昇に伴う内水氾濫を一体的に解析可能な氾濫解析モデルの汎用化。
- 結果：目的に応じ異なる氾濫解析条件にも対応可能な汎用的な氾濫解析モデルの確立。
- 成果・効果：目的に応じた氾濫解析モデルが不要となり、治水計画や流域治水の取組等に関する意思決定に活用可能。また、これを用いた水害リスク情報の充実を図ることにより、住居・企業の立地誘導・選択や土地利用・住まい方の工夫等を促進。

○氾濫水の建築物への被害評価

研究課題：都市浸水における建物の影響に関する研究

- 概要：氾濫水の建物に与える影響評価を行う。また、建物の配置による都市浸水の変化を検討し、効果的な建物配置（特性）を提示する。さらに、浸水を想定した建物のあり方を検討する。
- 結果：建物被害の評価が高精度となり、浸水被害低減の観点から効果的な建物配置を提案できる。さらに、浸水が多い箇所への建物のあり方を提言することができる。
- 成果・効果：得られた成果は、都市浸水対策に活用できる。地形を大きく変えることは難しいが、建物は50年くらいで建て替えを必要とすることから、建物配置による浸水対策は、長期の都市計画において重要な対策となる可能性がある。さらに、浸水発生頻度が高い場所では1階部分の使い方や浸水に強い建物素材などを検討することは重要であり、得られた成果は都市計画や建築分野、住民の浸水被害緩和の面から重要な知見となる。

研究課題：建築物における適応策

- 概要：家屋倒壊が想定される堤防付近での2Dと3Dの連成氾濫解析、建物破壊と建物内浸水の解析技術を確立させる。
- 結果：建築学的視点での建物での浸水や衝撃力のメカニズムを明らかにする。
- 成果・効果：家屋倒壊等想定氾濫区域における家屋の耐浸水・耐水圧補強対策の工法を確立する。

研究課題：氾濫時の建物被害評価手法のモデル化

- 概要：流域治水を見据えて、洪水氾濫時の建物被害を把握・評価・予測可能な手法を開発する。
- 結果：建物構造別に氾濫時の建物被害を評価できる。
- 成果・効果：流域治水を踏まえて、建築側に求められる耐水対策を定量的に提示する。

○氾濫シミュレーションモデルの構成方法と高速化

研究課題：氾濫解析の高速化

- 概要：氾濫解析に対する種々の高速化手法を開発し、それらを網羅的に整理して大規模氾濫解析の知見を深める。
- 結果：計算速度や実装可能性等に対して各種高速化手法を比較し、特徴を明らかにする
- 成果・効果：実行環境や目的に応じて実装すべき氾濫解析手法（基礎式の選択ではなくメッシュ分割や差分法の選択、降雨流出解析その他関連モデルとの関係）を取捨選択することが可能となる。

研究課題：高速氾濫解析モデルの開発

- 概要：様々な流域治水対策を簡易に表現できる高速氾濫解析モデルを構築する。
- 結果：検討したい対策を即座にモデルに反映し、その結果を確認することが可能となる。
- 成果・効果：河川管理者や住民、学識経験者などが意見交換を行う際に予め準備されたシミュレーション結果だけではなく、議論の場で様々な案を出し合い、リアルタイムにその効果を共有することで計画立案を加速する。

研究課題：運動波、拡散波、局所慣性、浅水流（長波）、3次元流などによる洪水流計算結果の比較

- 概要：流出モデルに上記の各種モデルを使う場合、流域レベルでの流出現象に影響がある要因はかなりの多いため、必ずしも各モデルの精度が結果としての流量予測精度に直結しない様相もあるが、一般の比較的狭い範囲の氾濫計算などの洪水計算に用いる場合に、各モデルの特性の把握や、解像度や勾配依存性については精査されるべきである。
- 結果：ある領域での高解像度計算が可能になってきており、より合理的で現象に即した洪水モデルの選択が可能となる。
- 成果・効果：急速に安全・安心な社会を作る必要性から、理論的精査が不十分でも、当座の危機管理に必要な洪水計算が求められているが、学術的な検討によって、再度洪水モデルについて見直すことが可能となる。長い目で見ると国際競争力の向上にもつながる。

第4章 土砂生産・流出と砂防

○観測とモデル化

研究課題：土砂流出の観測網の設定方法

- 概要：年平均の土砂生産・流出のマクロ推定が可能なように、洪水時の流送土砂の観測網を充実させる。
- 結果：境界条件の与え方、河道内生産の高精度化につながり、河床の切り下げや樹木伐採などの変化のみならず、流域内の農地の都市化、森林の変化等がその後の土砂動態（その場だけではなく河口までを含む）に与える影響を解析可能にする。
- 成果・効果：気候変動に伴う外力の変化や砂防・治水対策が与える長期的な変化を上流から河口までの範囲で推定可能にする。

研究課題：地質的特徴を考慮した土砂流出過程、予測モデルの構築

- 概要：総合土砂管理にとって重要な河川への流入土砂量と粒度の予測方法を構築する。
- 結果：地質的特徴を踏まえた土砂流出モデルの構築
- 成果・効果：検討過程で地質と河床材料の関係性を明確にすることで、これまで点で行われてきた河床材料粒度試験の評価も可能になる。
また、地質的特徴を考慮することで、総合土砂管理等広域かつ長期の土砂流出現象を取り扱う際に、より現地を踏まえた粒度分布を取り入れることができる。

研究課題：土砂流出

- 概要：気候変動に伴う降雨特性の変化に応じた土砂生産・土砂流出（短期・中期）の応答特性の解明
- 結果：気候変動に伴う土砂移動現象の変化及び被害想定範囲を定量的に把握
- 成果・効果：土砂・洪水氾濫対策、土石流・流木対策への反映

○（新項目）流木生産とその流出予測

研究課題：流木流出評価手法の開発

- 概要：砂防分野で利用されている砂防施設計画時の計画流木量の評価を河川流域全体で使用可能な評価手法へ拡張する。
- 結果：流域全体で降雨規模に応じた流木量を評価する。
- 成果・効果：河川計画に流木の影響を加味する上で、計画流木量を算定できるようになる。

研究課題：流木を考慮した河川計画

- 概要：出水規模に応じた河道内流木（流枝・流草含む）の発生と捕捉されやすい箇所とその影響を評価できるモデル手法を開発する。
- 結果：河道内の草本・木本の破壊流失における河川構造物・堤防のリスクを明らかにする。
- 成果・効果：大規模な出水を水・土砂の現象としてのみではなく、流木発生・捕捉を含む現象として、局所的に水位が増大しやすい箇所、局所流で洗掘が発生しやすく構造物や堤防に影響を与えやすい箇所、などのリスク評価が行える。

研究課題：リアルタイム土砂・流木・洪水評価手法の開発

- 概要：土砂流出と流木流出をリアルタイムで予測し、土砂洪水はん濫に流木が加わった場合でも、災害予測を可能とする手法を開発する。
- 結果：降雨予測に応じて数時間先の土砂・流木・洪水の予測ができるモデルを開発する。
- 成果・効果：避難誘導に土砂・流木の影響を加味できるようになる。

第5章 流砂

○混合粒径河道の土砂動態解析

研究課題名：流水と混合粒径土砂の多相流力学の解明

- 概要：細粒分から粗礫、巨礫を有する幅広い混合粒径粒子群の水流中の種々の移動形態を解明し、モデル化する。
- 結果：幅広い混合粒径河床材料で構成される河道の洪水時の種々の移動形態が解析できるようになる。
- 成果・効果：固液運動の運動量と乱れの相互作用系を混合粒径で検討し、固液二相流中の粒状体力学や乱流を水工学が牽引する。

研究課題：混合粒径対応・空隙率評価可能な掃流砂・浮遊砂一体解析手法の開発

- 概要：従来の掃流砂・浮遊砂と分けずに一体的・連続的に解析可能であり、かつ、混合粒径対応や空隙率評価も可能な流砂解析手法を開発する。
- 結果：混相乱流解析法（オイラー型、ラグランジュ型）をベースとする。
- 成果・効果：土粒子運動の素過程を忠実に考慮して、モデルパラメータの少ない流砂解析手法となる。

研究課題：様々な粒径が存在する場での流砂量、粗度抵抗の見直し

- 概要：一般的に用いられている方法では混合粒径で構成された河床の粗度抵抗、流砂量の評価の妥当性を十分検証した研究はほぼない。モデルの問題点を洗い出すためにも、再現性の検討を一般的な議論とできるところまで行い、精度検証をともなった改良を行う必要がある。
- 結果：粗度評価から流砂量の算定精度、モデル適用範囲の明確化。（必要に応じて粗度評価、流砂量算定モデルの提案）
- 成果・効果：実河川のように幅広い粒径が存在する場における粗度抵抗評価、流砂量の算定が可能になる。

研究課題名：流動形態の遷移を伴う流砂機構の解明と抵抗評価およびその展開

- 概要：土砂の集合運搬（土石流など）から個別運搬（掃流砂、浮遊砂まで適用可能な抵抗則の考究とそのモデル化および河床変動計算への適用
- 結果：土石流から掃流状集合流動、掃流砂・浮遊砂までの現象を一貫して解析することが可能となる。また、別途検討される流木を考慮することによって、砂防域から河道域までの広い範囲の現象を合理的に解析できるようになる。
- 成果・効果：流砂系一貫した流砂現象をシームレスに解析可能となり、より合理的な土砂管理計画を実施可能になる。

○流砂系通過土砂量モニタリング

研究課題：計測・解析を統合した流砂系通過土砂量モニタリング

- 概要：土砂水理の解析技術と LP、ALB、衛星測量などのセンシング技術を統合し、流砂系内の通過土砂量モニタリング技術を開発する。
- 結果：流砂系内の主要地点で通過土砂量が把握できる。
- 成果・効果：砂防、ダム、河川、海岸の領域を跨ぐ土砂問題を解決するための基盤情報となる。

第 6 章 河床変動と流路変動

○混合粒径河道の河床変動解析法

研究課題名：混合粒径河道の分級現象と河床変動解析法

- 概要：幅広い粒度分布をもつ混合粒径河道の分級現象と河床変動解析法を開発する。
- 結果：空隙率の変化や、分級による表層構造の変化を考慮した流域の細粒土砂輸送が検討できる。流域全体で混合粒径河道解析を可能とできる。
- 成果・効果：土砂の体積についてきちんと評価できるようになり、流域土砂管理の仕方が変わる。土砂体積の評価が可能となり、河道内貯留効果だけでなく摩耗を含めた土砂生産量の評価も可能となる。表層の河川生態環境が評価できるようになる。

研究課題：実河川を意識した一次元河床変動解析の適用範囲の明確化と広域的な評価に耐える新たな手法提案

- 概要：実河川では、川幅の変化は変化するし、河床高が横断方向に凹凸しているため、一次元流れの解析により水位の平均値が算出できても実際には水位が横断方向に分布を持ち、また流砂量にも分布ができて、河床変動量の算出上問題が起こりやすい。これが混合粒径河床になると断面平均値での議論はさらに困難になる。そのため、水位等水理量の平均値だけで考えず、一次元の限界を示し、高度化した広域な河床変動解析を提案する。
- 結果：実河川での広域河床変動モデルの提案
- 成果・効果：広域土砂管理計画等で必要なデータや将来予測が可能になり、変化の方向性を踏まえた対策が可能になる。

高精度平面二次元河床変動モデルの汎用化

- 概要：河川の河床変動モデルには実用的な観点から平面二次元モデルがよく用いられているが不足している物理要素は多い。準三次元（2.5次元）の流れモデルや非平衡流砂モデルを組み込んだ高度なモデルを体系化し、理論的、実験的検討との比較を通じて性能を照査する。
- 結果：高精度かつロバストなモデルの汎用化
- 成果・効果：平面二次元モデルをベースとした河床変動モデルの高度化が進んでいるが、そのベンチマークや適用性は体系化されていない。限られた実験、現地ケースだけでなく、理論的背景も含めたモデル性能の統一的評価を行うことでより使いやすいモデルとすることができる。

河岸侵食モデルの高度化

- 概要：流路変動を引き起こす一要因である河岸侵食は流れ構造と河岸構造の両者の相互作用により決定されるが一般にモデル化が難しい。これまでの知見を体系化しつつ、実用的かつ汎用的な侵食モデルを開発する。
- 結果：高精度河岸侵食モデルの開発
- 成果・効果：河床変動計算における河岸侵食の取り扱いは大きな弱点の一つである。これらのモデルを組み入れることで、より実用的な河床一流路変動モデルの構築につながる。

○河床材料のモニタリング技術

研究課題：粒度の範囲が広い河床材料の三次元的な分布を把握する実用的方法

- 概要：場所や深さ毎にことなる粒度分布を実用的に把握する
- 結果：河床変動や流砂量をより正確にみつめることができる。
- 成果・効果：より長期的に精度のよい河床変動、とくに大きな変動の予測ができる。

○不確実性の評価

河床変動計算の不確実性評価

- 概要：河床変動計算結果は、外力が持つ不確実性、モデルパラメータが持つ不確実性により左右されるがその影響評価は十分ではないと考えられる。例えばアンサンブル気候計算から得られる降雨一流出データを境界条件とした外力の不確実性評価や、流れ一流砂モデルパラメータに対するモデルの不確実性評価を行い、モデルが出力する結果の振れ幅を明らかにする。
- 結果：現時点で利用できるモデルのロバスト性、予測可能性について明らかにする。
- 成果・効果：河床変動計算の精度評価は、実験や観測データとの比較を通じて行われるが、計算結果には振れ幅が存在するので、それがどの程度大きいのかで、再現計算の意味合いが変わってくる。このような不確実性評価は、モデルの予測可能性を示す一つの指標になる。

○維持管理と直結する河川変動解析技術

河床変動計算の DX 化

- 概要：河川横断測量結果や橋脚などの河道内構造物のデータを国土交通データプラットフォーム（DPF）などから検索、入手し、自動変換して数値計算の入力データにする
- 結果：河床変動計算の入力が容易になり、多くの技術者が計算をベースにした意思決定を行うことができるようになる。
- 成果・効果：流域治水の政策のもとで、気候変動の影響により計画高水流量が変更されるような場合には県管理河川においても既存構造物が河床変動に与える影響を照査する必要があるが、その工数を大幅に減少し、適切な構造物の管理、更新に役立てることができる。

第 7 章 河川構造物の水理

研究課題：河川構造物の洪水被害評価・予測

- 概要：豪雨により頻発する河川構造物（橋梁等）の被災を受けている。このため、橋梁被害評価・予測手法を構築する。
- 結果：洪水時の構造物被災要因やメカニズムを整理する。被災評価手法を検討する。
- 成果・効果：気候変動を踏まえた河川構造物の被災リスク評価を行い、河川構造物の維持管理や洪水対策の基礎情報とする。

研究課題：各種構造物に作用する流体力特性の把握

- 概要：複雑な形状を持つ河川構造物（橋梁や護岸等）や家屋、植生・樹木に作用する流体力特性を把握・モデル化する。
- 結果：河川水理分野に関係する物体の抗力・揚力係数を個別ではなく、体系的に取りまとめる。
- 成果・効果：流体力評価の高精度化を図り、河川洪水・氾濫流解析の進展の一助とする。

研究課題：構造物周辺の維持可能な局所洗掘を活用した生態系改善

- 概要：護床工・水制などの被災メカニズムを考慮したうえで、被災に至らない洗掘のさせ方（洗掘位置を構造物からずらすなど）を解明する。
- 結果：生態工学の知見も活用し、構造物周辺に多様な物理場を作成する方法を構築する。
- 成果・効果：維持管理面で有利かつ生態工学的にも多様な場を創出する手法は、環境面での貢献が大きい。

研究課題：堤防の破堤メカニズムの理解とそのモデル化

- 概要：堤防の破堤メカニズムを明らかにし、破堤のプロセスをモデル化する。破堤の原因となる不確実な要素は確率的に扱い、確率的な破堤モデルを構築する。
- 結果：確率的な破堤モデル
- 成果・効果：河川モデルと組み合わせて破堤による氾濫を確率的に予測する。確率的な氾濫予測を実現し、予警報を発展させる。また、確率的な浸水被害額の推定（リスクカーブ）を実現し、適切な治水投資の基礎情報を与える。

研究課題：堤防強度を評価する技術の確立

- 概要：堤防に対する越水、浸食、浸透について、堤防の強度を評価する技術を確立する。
- 結果：堤防強度の評価技術
- 成果・効果：膨大な延長を有する堤防に対して、区間ごとに強さだけでなく弱さも評価する。これによって、外力が強大化する中で堤防強化や流域的な対応を考える区間を明示する。

○（新項目）河道管理の水利

研究課題：河川構造物の維持管理と直結した河川変動解析技術

- 概要：河川構造物が被災に至る FT 図のそれぞれの判断基準となる閾値を明らかにし、変状の程度により維持管理の緊急度を判断できる数値解析技術を確立する。
- 結果：現場状況に応じたパラメータの幅や、境界条件・計算条件の与え方に関する知見を充実させる。起こりうる現象の幅を、随時判断できるようになり、現場の維持管理行為と連携が深まる。
- 成果・効果：研究レベルでの再現計算にとどまらず、起こりうる事象を事前判断できるという意味で効果は大きい。

研究課題：長期河道応答予測技術

- 概要：河道水利、土砂輸送、植生動態を統合し、数十年スケールで河道動態予測を行う
- 結果：数十年スケールでの河道地形変化、植生繁茂状況を明らかにする。
- 成果・効果：持続的に維持できる河道設計、維持管理手法の構築につながる（このことが治水計画上の河道配分流量（上限値）の合理的な設定につながる）。

研究課題：流下能力の継続的評価

- 概要：LP、ALB、衛星測量などのセンシング技術と水理解析技術を統合し、継続的に河道流下能力を把握できる技術を開発する。
- 結果：河道の維持すべき機能である流下能力について、継続的（連続的）に把握できるようになる。
- 成果・効果：河道の維持管理技術の向上（河川の維持管理について、現状では河川構造物の維持管理技術は提案されているが、洪水を流す器である河道そのものの維持管理については十分な技術がない。河道で維持すべき重要機能である流下能力を連続的に把握できるのは、河道の維持管理技術の向上に必須）

研究課題：冷地河川における解氷時期推定手法、アイスジャム発生危険箇所推定手法の開発

- 概要：春先の河氷の解氷によって河道内に氷が堆積するアイスジャムが発生し被害をもたらす。アイスジャムの前には解氷現象が現れることから解氷現象を推定する手法、アイスジャム発生危険箇所を推定する手法が望まれている。
- 結果：一般的に入手可能な入力値を用いた解氷時期を推定する手法の構築、河道データを用いたアイスジャム発生危険箇所推定手法の構築。
- 成果：気象庁の10日後予報を用いて10日後までの解氷予測を行うことができる。また、本手法を活用し解氷マップを作成することにより、広く一般に注意喚起が可能となる。どこでアイスジャムが発生しやすいかを事前に把握することができる。

第〇章（新項目）水害リスク評価

〇水害リスク推計

研究課題：人口・社会経済変化を考慮した水害リスク推計

- 概要：国、自治体、市など広域で推計・予測される人口・社会経済データを基にメッシュ単位で計算が行われる数値モデル実験結果と組み合わせる方法を開発する。
- 結果：人口・社会経済変化を考慮した水害リスクを明らかにする。
- 成果・効果：人口減少下での水害リスクを踏まえた街づくりの基礎情報となる。

研究課題：人口・社会経済変化、産業・生業、脆弱性を考慮した水害リスク推計

- 概要：国、自治体、市など広域で推計・予測される人口・社会経済データを基にメッシュ単位で計算が行われる数値モデル実験結果と組み合わせ、地域の産業・経済（マクロ経済学的GDPやサプライチェーン等を含む）、生業への中長期の影響、要配慮者利用施設等の脆弱性等を考慮したリスク評価方法を開発する。
- 結果：人口・社会経済変化等を考慮した水害リスクを明らかにする。
- 成果・効果：人口減少下での水害リスクを踏まえた街づくり、治水計画検討の基礎情報となる。企業の情報開示やBCP作成、水害保険等、多様化する水害リスク情報の活用ニーズに対応する。

研究課題：流域全体の水害リスクの評価手法

- 概要：洪水時の洪水の挙動を説明できる水収支分布図等、内外水の洪水氾濫による流域全体の合計被害と降雨確率規模との関係を示すリスクカーブ等、氾濫ブロック毎のリスク（浸水要因や災害シナリオによらないリスク評価に、経済・産業・生業・脆弱性等を加味）を統合した、流域全体のリスク評価手法の構築。
洪水時の流域内での洪水の挙動、水施設の破壊の場所・タイミング等の評価、浸水に伴う各氾濫ブロックの被害・資産の評価および防災・社会経済上の影響評価、あらゆる関係者が事業主体の各種減災対策の効果の評価等の項目から構成。
- 結果：流域治水型の治水計画の検討手法。すなわち、上下流・左右岸・本支川バランスを踏まえた、各種施設の配置計画の検討手法（従来型治水事業、輪中堤等への見直し、粘り強い堤防、遊水地、浸水被害防止区域等、あらゆる関係者が事業主体の各種減災対策等）
- 成果・効果：国と都道府県が管理する区間の各種治水事業、あらゆる関係者が事業主体の各種減災対策等を含む、流域一体の治水計画の立案や流域治水の取組等の進展や合意形成に寄与。

○社会－水災害相互作用の解明・モデル化と政策決定支援

研究課題：社会－水災害相互作用の解明とモデル化

- 概要：経済モデルや社会水文学的研究により社会と洪水災害や渇水災害をはじめとした水災害現象との相互作用を解明しモデル化する。
- 結果：水災害特性に応じた社会応答や個人行動、経済活動の変化とそれによる人為的介入（水工施設の整備等）による水災害特性の変化を再現・予測する。
- 成果・効果：水工施設の整備や社会経済的な水災害リスク管理が長期的に社会および河川流域に及ぼす影響を明らかにし、それに基づく政策決定支援を行う。

研究課題：土地利用や建築規制などの制度と人間の応答に関する研究

- 概要：マルチエージェントモデルや行動経済学的な心理を含めて、規制に対する人間行動モデルを開発、高度化する。
- 結果：氾濫水の水利挙動と地下空間を含む都市内の構造を踏まえた人間行動の特性を明らかにする。
- 成果・効果：規制の効果を検討するための基礎資料を提供する。

研究課題：合理的な流域政策決定モデルの開発

- 概要：河川改修や流域治水の政策は必ずしも合理的に決断されるわけではなく、様々な環境要因や歴史的背景、地元の要請などで決まる。法律や行政の仕組み、住民心理などの社会科学的なモデルと、河川工学が得意とする物理・確率モデルを融合したモデルが望まれる。
- 結果：分理融合型の研究を水工学が先導できる。他の部門にも応用が可能。
- 効果・効果：政策決定時に苦勞している地方自治体に貢献できる。行政の判断に科学的知見が直接反映できる。

研究課題：あらゆる関係者が事業主体の各種減災対策の効果の評価手法

- 概要：流域治水の観点で求められる、河川への流出を抑制する対策（田んぼダム、雨水貯留施設、霞堤、二線堤等）の評価手法の構築。
- 結果：あらゆる関係者が事業主体の各種減災対策等の効果の評価が可能になる。
- 成果・効果：あらゆる関係者が事業主体の各種減災対策等を含む、流域一体の治水計画の立案・合意形成の進展。

○流域複合災害リスク評価と危機管理対策ツールの開発

研究課題：降雨量から斜面崩壊・土石流・洪水氾濫の現象を予め把握し、流域レベルでの複合災害リスクの評価・分析する危機管理対策ツールの開発

- 概要：降雨量から斜面崩壊・土石流・洪水氾濫の現象を予め把握し、流域レベルでの複合災害リスクの評価・分析する危機管理対策ツールを開発する。
- 結果：降雨の時空間分布から、流域から河道への降雨流出、河道での洪水流および氾濫原での氾濫流の挙動、斜面崩壊から土石流～掃流状集合流動～掃流砂・浮遊砂と遷移する流域から河道・氾濫原への土砂移動、斜面から河道への流木の流入、河道・氾濫原での輸送・堆積や構造物による捕捉を再現・予測し、これに基づき複合災害リスクの評価・分析を可能とする。
- 成果・効果：流域レベルでの雨水の挙動や災害リスクの把握が可能となり、危機管理対策を講じる上で有用な情報を提供できるようになる。

○まちづくり支援のための技術（技術と関連した制度に関する研究開発を含む）

研究課題名 水害リスクと人口減少を考慮した地方都市のまち作り

- 概要：災害に対する安全度と最適な居住地区の関係は、人口や社会構造の将来的な変化により改めて見直す必要があると考えられる。次の世代の社会構造や産業構造に対応した水害対策としての地方都市のあり方を検討する。
- 結果：コンパクトシティのような発想で、災害の観点から、持続可能な都市の構造についての取りまとめがなされる。
- 成果・効果：水害のソフト対策の一つとして提言ができる。

研究課題：人口減少を考慮した流域治水に関する都市計画との連携

- 概要：上流、中流、下流に遊水地を作るなどして、流域治水を進めることは重要であり、その定量的な評価と精度向上を進める必要がある。しかし、仮に、今住んでいるところで浸水を許容することを求められても受け入れることは難しいと考える。一方、今後、人口減少が進むことから、社会インフラの効果的・限定的な整備を進める必要がある。この方向性は流域治水と合致するので、その実現に向けて計画分野と連携する。
- 結果：水理学的な情報や人口減少の中での実施可能性を基に、都市整備の在り方を議論し、流域内の適地を見出し、流域治水や都市開発・整備、住民の住み方に関して、方針を決める。
- 成果・効果：得られた成果は、全国的に展開できる。また、今後の流域治水や都市開発・機能維持について、方針を示すことができる。

○水害に対する避難活動支援技術の開発（技術と関連した制度に関する研究開発を含む）

研究課題：避難行動のモデル化

- 概要：マルチエージェントモデルをはじめとした避難行動モデルを開発、高度化する。
- 結果：氾濫水の水利挙動と地下空間を含む都市内の構造を踏まえた避難行動の特性を明らかにする。
- 成果・効果：氾濫時の適切な避難行動や避難場所設置を検討するための基礎資料およびガイドラインを提供する。

研究課題名 氾濫減災における避難行動要支援者の安全確保に資する氾濫解析とハザードマップの地域タイムラインとの結合による水工学知見の社会実装

- 概要：気候変動に伴う河川氾濫に対する避難主体住民の安全確保は、実学としての水工学分野においてその知見を役立たせるべき重要な課題である。そうした視座において氾

氾濫解析とそれから得られるハザードマップは重要な情報を提供できるが、実際の地域住民の氾濫発生時の行動そのものにおいて役立つ情報が提供できているかという課題は地域自治体では存在している。特に避難行動においては通常の氾濫解析における空間メッシュスケールよりも小さい規模での浸水・流体力の状況・情報により歩行・乗用車移動に対する危険性の評価が、単純なグリッドスケールの精緻化だけではなく求められる。避難行動に役立つという観点での情報が一人でも多くの命の確保、特に避難行動要支援者にとっては重要である。具体的には地域・集落あるいは個別住宅だけでなく、避難行動のレベルに応じた個人毎の「マイタイムライン」の作成の必要性は、わが国にタイムラインがアメリカから導入されたときから指摘されていたことである。実際にはタイムライン情報の上流側である国、県の行動が充実し、結局避難者そのものの行動にまで結びついていないという実態がある。これまでの水工学における氾濫解析の学術知見を上記の視座から再評価し、一人でも多くの人を救える情報を提供するという観点から、モデル自治体における集落・個人スケールの視点による氾濫解析とタイムラインとの結合をモデルケースの対象地域を設定した上で社会福祉協議会や市役所等と連携して実施し、本テーマに関する課題解決を図る。さらにこのモデルケース研究において社会実装の面で明らかとなる水工学的研究課題を抽出し今後の研究指針を明らかにする。

- 結果：タイムラインの実質化として、避難者の行動に関する諸特性に応じた氾濫解析結果の情報が住民対応の主体である地域自治体や関連組織および避難者に提供できる。
- 成果・効果：水工学における重要な研究テーマの一つである氾濫解析が、その内在する最終目的である災害大国である日本における、一人でも多くの人を救う上で実質化される。

研究課題：水災害発生時の避難困難度の評価手法の開発

- 概要：地域ごとの地形や氾濫・浸水特性、交通システム、都市構造などの特性を考慮した水災害発生時の避難困難度の評価手法を開発する。
- 結果：浸水・氾濫発生時の通行可能性や避難所までの最適経路、要避難時間などの情報を創出する。垂直避難の推奨地域なども特定する。
- 成果・効果：避難計画の策定や、避難訓練への活用、実際の避難行動の際の避難開始のタイミング・ルート選定を適切に行うことができる。

第3編 ダム

第1章 ダムの計画と設計・管理

気候変動に伴う異常洪水時防災操作発生確率と発生状況の解明

- 概要：近年の気候変動に伴いダム貯水可能量を超えることが増加し、異常洪水時防災操作が発生することが増加することが懸念される。そのため、その発生確率の解明および、どのような状況下（降雨の空間分布や継続時間など）で異常洪水時防災操作が発生しやすいかを予測可能な手法を確立する。
- 結果：異常洪水時防災操作の発生確率や発生しやすい状況を明らかに出来る。
- 成果・効果：異常洪水時防災操作が発生しやすい状況を予測可能となり、例えば事前放流を行うタイミングや下流域に住む住民に対する事前の避難勧告が可能となることなどが期待される。

第2章 セキと越流頂

第3章 ダム関連構造物の水理

第4章 導流部と減勢工

第5章 貯水池管理

研究課題名 気候変動に伴う貯留水品質への影響評価と緩和作

- 概要：貯水池管理において貯留水の品質である水質は、良好な状態を維持してユーザーに供給することが今後も求められると共に、改正河川法の第3目的である環境面においても貯水池生態系における良好なハビタットの維持やダム下流河川環境に対する大きな影響から今後も重要な課題である。気候変動による貯水池および下流河川への影響は多面的・複合的であるが、これらをその素過程の解明とそれらの統合による総合的理解に基づき、そのリスクと対応方策を明らかにする。
- 結果：気候変動により生じる従来と量的・質的に異なる諸水質問題の見通しと対応策が明らかになる。
- 成果・効果：上記結果に基づき、今後のダム管理の実務における技術開発・行政的諸対応の明確化に資する知見を提供でき、わが国における水資源開発・河川環境管理の向上が期待される。同時に熱帯亜熱帯地域における多くの開発途上国における上記課題解決にも資する。

第6章 ダムの堆砂と排砂

第4編 水資源計画と上水道

第 1 章 水資源計画

第 2 章 市街地雨水流出・汚濁流出

第 5 編 海岸・港湾

第 6 編 流域圏環境

第 1 章 流域圏の水・物質循環システム

研究課題：陸－海間の水・物質循環システムの解明

- 概要：特に物質循環は陸から海への 1 方向ではなく、海から陸への例えばサケなどの遡河魚に伴う物質循環も存在する。そのため、陸－海間の水・物質循環システムを統計的・定量的に評価可能な手法を確立する。
- 結果：陸域・水域生態系にとって重要な栄養塩を含む水・物質循環の長期的な予測が可能となる。
- 成果・効果：近年問題視されている気候・社会変化（人口減少や土地被覆変化など）に伴い変化する流域圏における水・物質循環システム予測・解明可能となり、求める流域圏環境の実現に向けた方策を提案可能となる。

研究課題：長期的な水環境変遷に関する測定の方法論の確立と、データ取得（計測）から解析の実施。

- 概要：気候変動や社会構造の変化による水環境の変化を把握するための調査研究。何をどのように計測するべきかという方法を検討し、データの蓄積を進め、その解析を行う。
- 結果：長期的な環境変化を把握する事ができる。
- 成果・効果：将来的な河川環境の管理方法に関する知見を提供できる。

研究課題：未経験レベルの高水時にも適用できる LQ 式の開発。

- 概要：観測データに基づく LQ 式では洪水時の L が外挿で求められることが多い。加えて高水時の観測データ不足から不確実性が高い。それらの欠点を改善するためにまずは河川流域内で多点同時水質測定ネットワークを構築し、分布型流出モデルなどとの整合性を確認する。
- 結果：気候変動影響評価など未経験レベルのインパクトを評価できるようになる。
- 成果・効果：将来的な流域圏環境の管理方法に関する知見を提供できる。

研究課題：デジタルツインによる河川・地下水環境モデリング

- 概要：離散的な地表水と地下水の観測データを即時に取り込んだ物質輸送・環境変化モデルを開発する。未解明な地中の微生物過程を観測し、モデル化を行う。また、地質データのデジタル化と物質輸送モデルの逆解析によって汚染源を特定する。
- 結果：時空間の地表地中の物質・生物量を推定することができる。
- 成果・効果：水質ハザード、リスクを定量的に評価することができる。安心な地下水開発が可能となる。

研究課題：流域圏の水・物質循環・生態系を含めたデジタルツイン

- 概要：流域圏の水・物質循環・生態系をバーチャル空間上にシミュレーションできるモデルを開発する。
- 結果：水質、生態系まで含めた数値流域圏を構築する。
- 成果・効果：流域圏の人間活動が水圏生態系に与える影響などをバーチャル空間上で予測し、対策等につなげる

第2章 水循環と生態系（陸水および沿岸域における水環境に関する理論構築とモデル化

河川水温の将来変化予測手法の開発

- 概要：気候変動予測モデルや流域特性と河川水温との関係を分析すること等により河川水温の将来予測手法を開発する。
- 結果：観測水温データが限られた河川でも河川水温の将来予測を可能とする。
- 成果・効果：河川水温の将来変化を踏まえた利水・環境面の影響把握に役立つ。

研究課題：成層を考慮した水環境の理論的検討とモデル化

- 概要：成層の有無を含め、波・流れと水環境の相互作用をモデル化するための理論を構築する。陸水のみならず沿岸域までを対象とし、対象範囲は流域圏にとどまらない。水環境には、水生植物等も含み、生態系までを対象とする。
- 結果：あらゆる水域に適用可能な理論と概念モデルを構築出来る。内部波など流体力学的な観点からの理論が発展する。
- 成果・効果：複雑化する成層場における生態系の維持・管理に適用できる。モデルを利用することで、将来予測が可能となり、気候変動への緩和策・適応策を提案できる。河川モデルと組み合わせて破堤による氾濫を確率的に予測する。確率的な氾濫予測を実現し、予警報を発展させる。また、確率的な浸水被害額の推定（リスクカーブ）を実現し、適切な治水投資の基礎情報を与える。

第3章 流域環境

研究課題：気候・社会変化を考慮した過去も含めた流域環境の長期的な動的解明・予測

- 概要：気候や社会変化（人口減少や耕作放棄に伴う土地被覆変化）に伴う流域環境の変遷を予測・解明可能なモデル化を行う。
- 結果：過去から現在に亘って、健全な流域環境がいつであったかを解明可能となる。
- 成果・効果：流域圏における自然環境は、数年、数10年規模の長期的な影響の蓄積によって形成される。そのため、流域環境を保全するには健全な流域環境の状態を理解することが重要となり、その環境を実現・持続させるために必要な方策が提案できる。

研究課題：人口減少による河川環境への影響

- 概要：人口減少により、水質的には面源、点源負荷が減少する事が想定されるなど、社会環境の変化は、環境や物質循環に影響する事が想定される。これまで人為的に影響を受けてきた我が国の水環境の将来変化を展望する。
- 結果：水環境の変化に関わる要因と応答に整理される。影響の度合いなどに応じて対策案を示す。
- 成果・効果：将来的な河川環境の管理方法に関する知見を提供できる。

第4章 河川環境

第5章 地下水環境

第6章 ダム貯水池・湖沼

研究課題名 閉鎖性水域の水環境に関わる影響因子と改善策の整理

- 概要：湖沼は環境基準の達成率が低いとされている。しかし水質、底質について、改善が必要な事項かどうかなどは、現場によっては曖昧なものもありうる。それらを整理し、環境保全対策の最適化の一般化について検討しまとめる。
- 結果：従来、改善が必要と考えられていた要因（例えば底層の貧酸素化など）についても、影響する対象から対策自体の要不要などについても検討し、とりまとめをする。
- 成果・効果：将来的な湖沼環境の管理方法に関する知見を提供できる。

第三部 気候変動－内部要因－外部要因－影響－対策の連関図

グローバル気候変動適応研究推進小委員会

図 1：洪水・治水連関図

図 2：環境（水質）連関図

図 3：環境（生物多様性）連関図

図 4：利水・水循環連関図

洪水・治水連関図

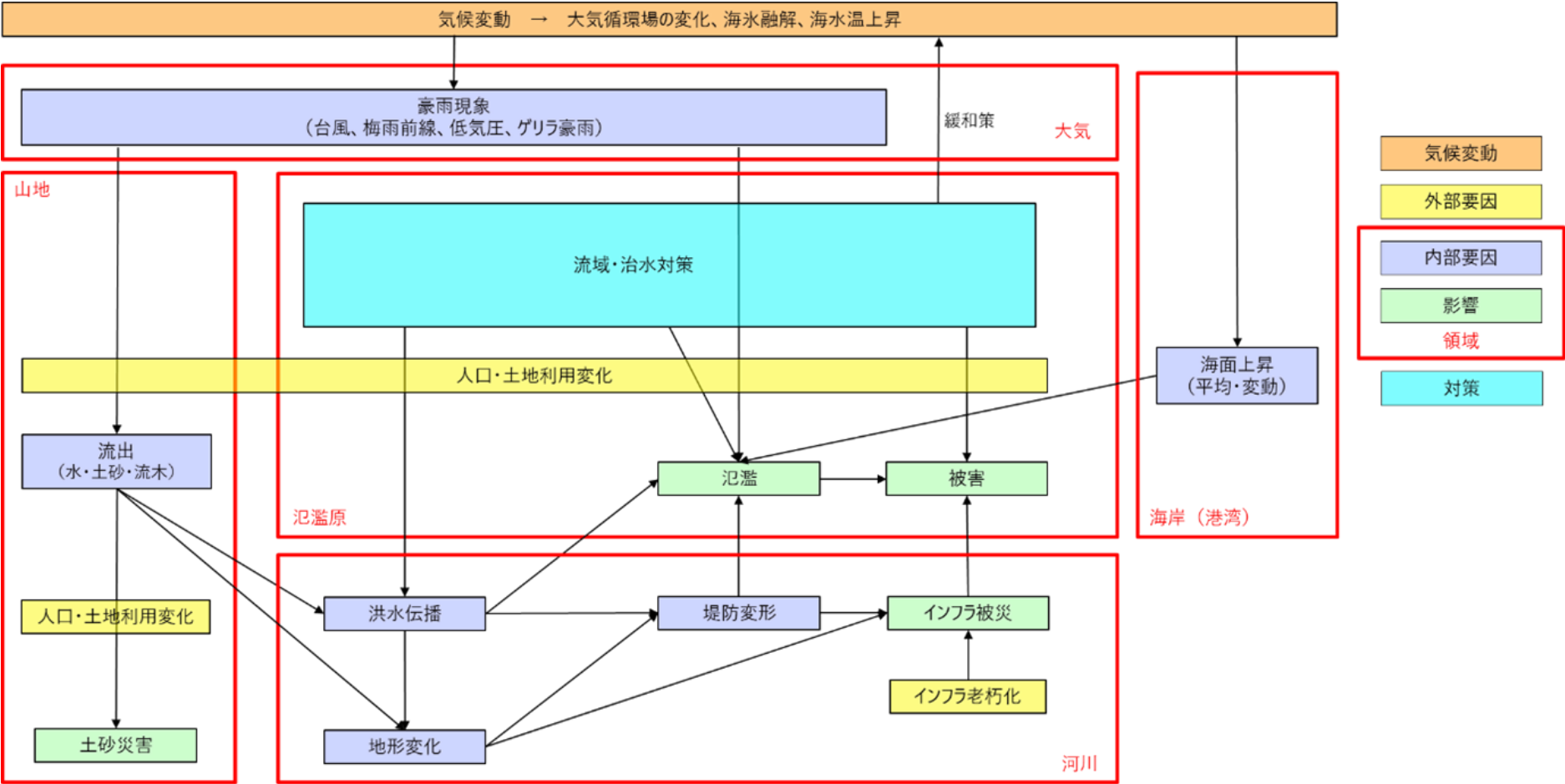


図1：洪水・治水連関図。主に洪水中の現象に着目している。矢印は主に水・土砂の移動を矢印で表現し、影響を与える外部要因および対策が流れの中に差し込んでいる。

環境（水質）連関図

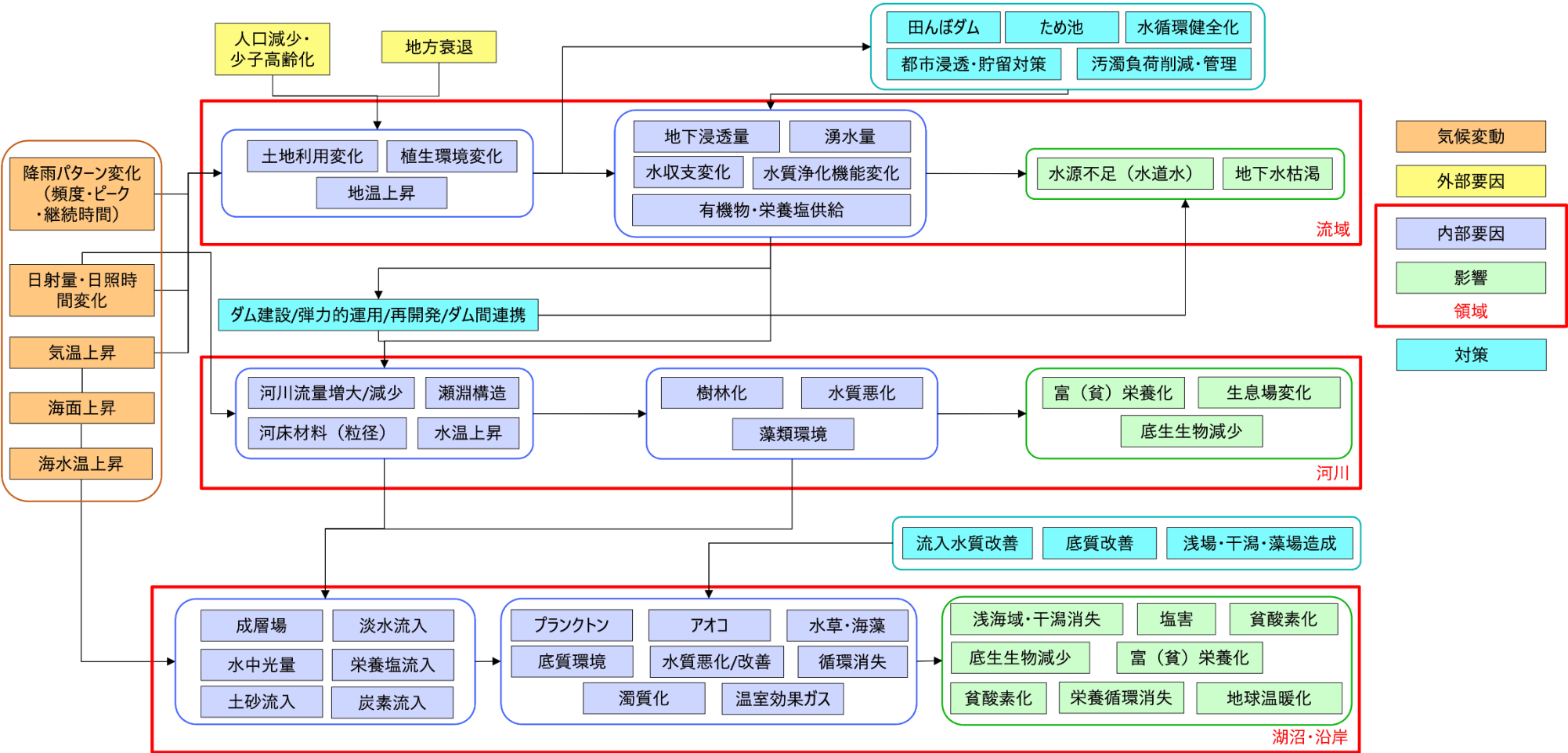


図2：環境（水質）連関図。環境では多くの要素が複雑に絡み合い繋ぐ線が多くなり複雑となるため、関連する要素をグループ化し、その大枠を線で繋ぐこととした。

環境（生物多様性）連関図

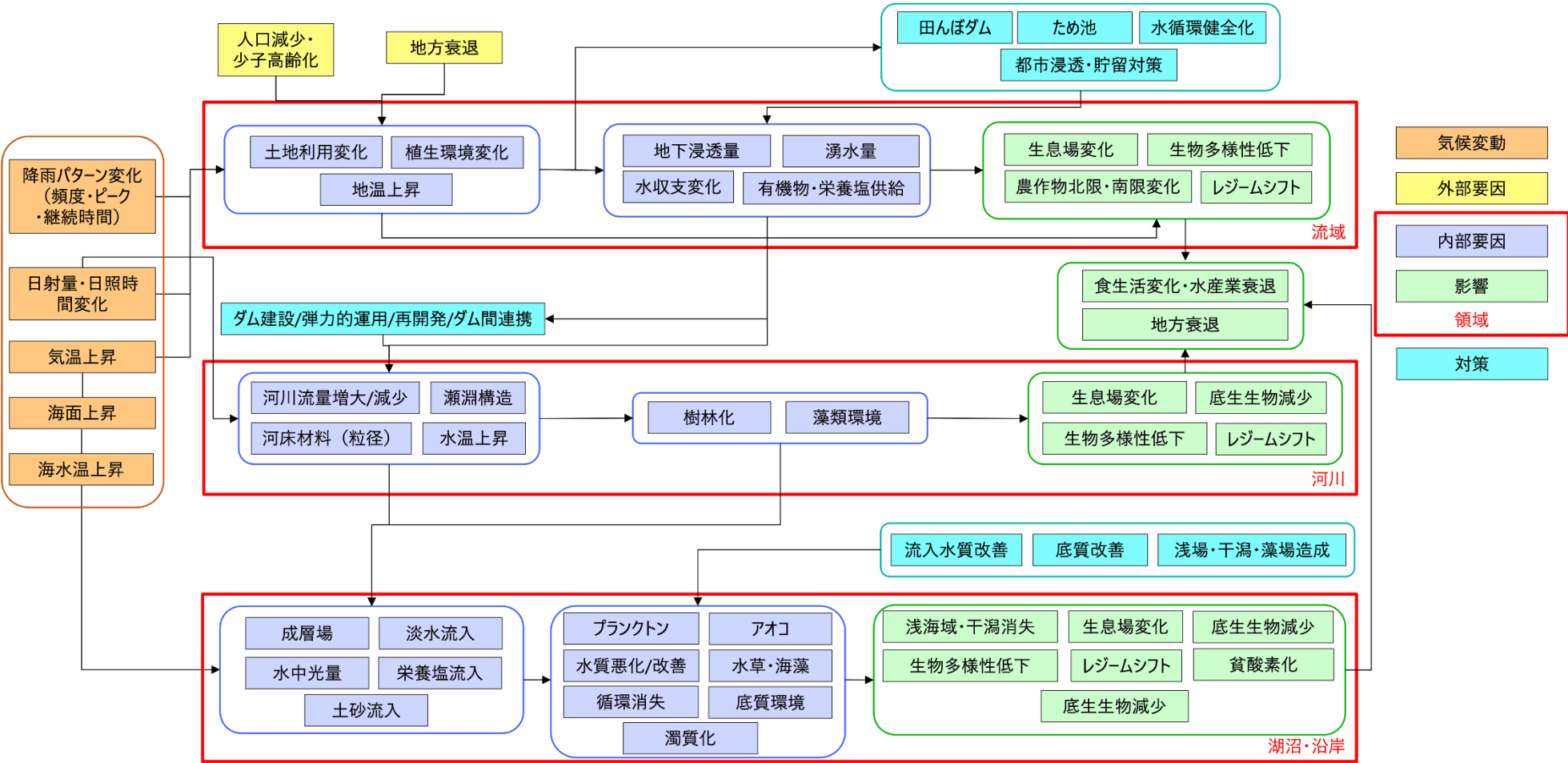


図3：環境（生物多様性）連関図。環境では多くの要素が複雑に絡み合い繋ぐ線が多くなり複雑となるため、関連する要素をグループ化し、その大枠を線で繋ぐこととした。

利水・水循環連関図

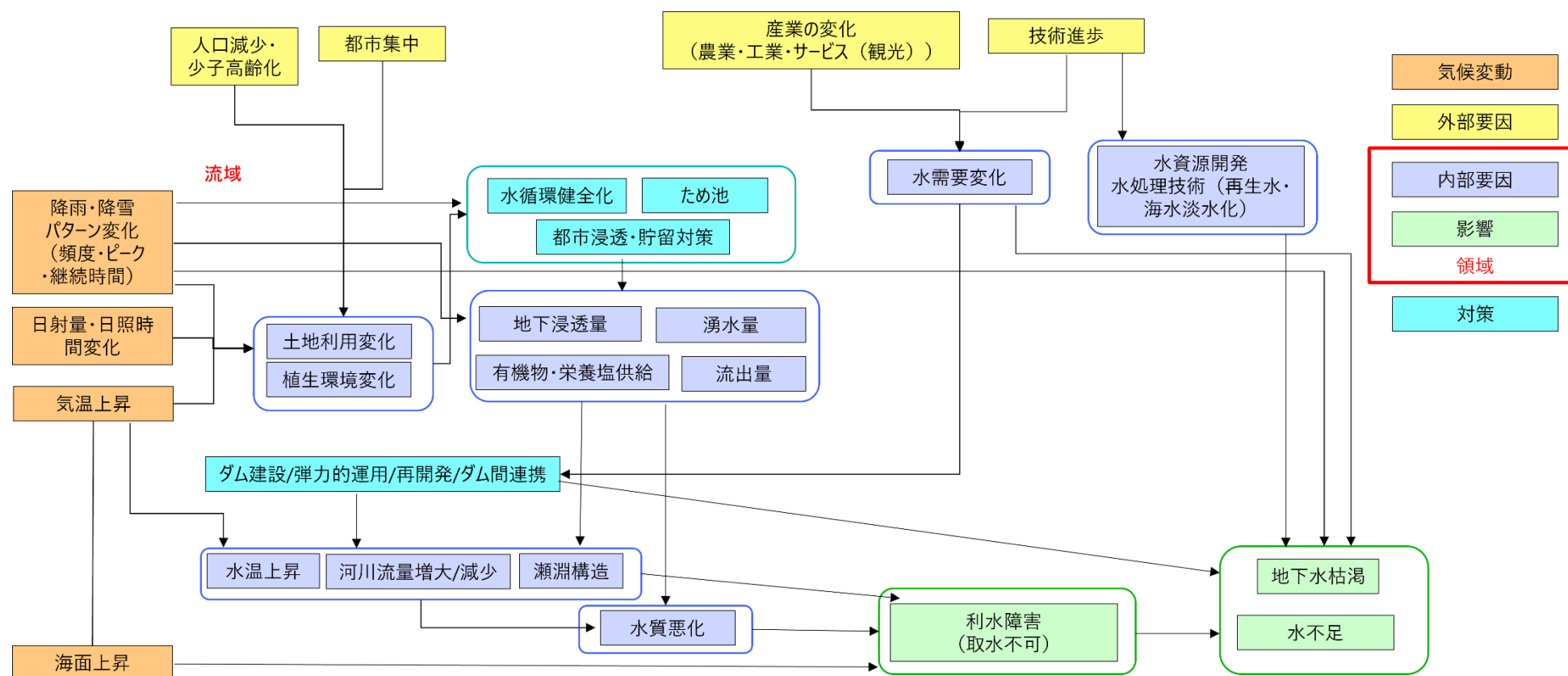


図4：利水・水循環連関図。利水・水循環では重要性の大きな外部要因を上部にまとめて配置し、左に配置した気候変動と併せて考慮することで右下の影響へと至る関係性を図示した。