

SD 分析による今世紀の水資源の持続可能性

東京大学大学院工学系研究科

学生会員 平岩洋三

東京大学生産技術研究所

正会員 沖 大幹

東京大学生産技術研究所

フェロー会員 虫明功臣

はじめに

今世紀、人類が最も恐れる危機の1つが水資源危機である。本研究ではシステムダイナミクス(SD)を使ったシミュレーションモデル(SDモデル)を用い、今世紀100年の時間経過に伴う人間社会と水資源の相互作用の推移をグローバルな観点から分析した。具体的には、人口増、途上国の工業化、途上国の生活水準の向上、水利用効率の向上、水資源の汚染、河川水の開発限度、先進国から途上国への食料供給等を考慮した。人間社会と水資源においてどのような対策をどれほどのレベルで講ずる必要があるのかという今世紀における水資源の指針の獲得を最終的な目標とした。

SDモデル

SDモデルは、動的かつ連続的なモデルで、モデル内にフィードバックループが存在し、定量化しにくいものも捉えられる。このような特徴から長期のシミュレーションに適している。21世紀100年間にわたり水資源の制約と人間社会の拡大の拮抗状況をグローバルに分析する本研究にSDモデルはふさわしいと考えた。

構築したSDモデルの概要と分析方法

図1は本研究で構築した主要なフィードバックループを表す。水需要モデルで生活水準から算出された水需要量によって、必要な水資源の開発量を計算する。水資源の開発・汚染モデルにおいて、算出された開発量と水資源賦存量モデルとの相互作用から、汚染された水資源の分を踏まえた上で、水資源の制限により実際に開発できる水資源量を計算する。その値から水資源の制約により下がる生活水準を計算する。また下がった生活水準による水使用量が汚染される水資源の量に影響を与える。このようなフィードバックを表し、他にも細かな要素まで含めれば約300の要素を含むSDモデルによって分析を行った。

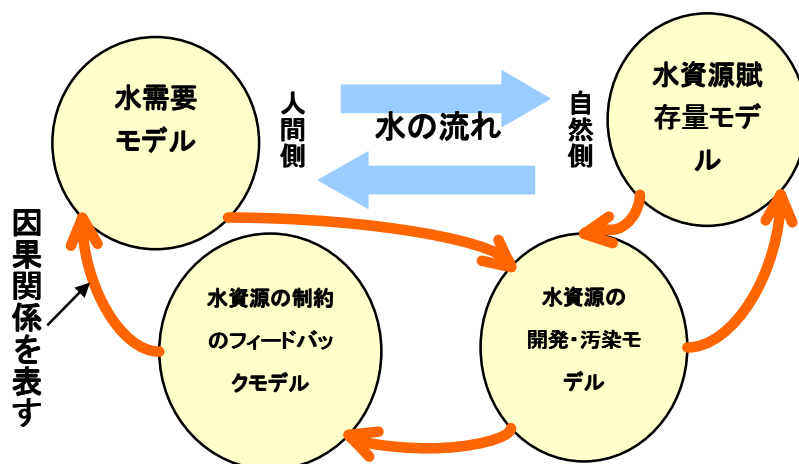


図1 SDで表すフィードバックの例

「成長の限界」(1972)では世界を1つとして全く地域分けや地域差を考えずに、世界を表すモデルを構築していた。本研究では、水資源を中心に考えると、先進国と発展途上国は現在の状況が全く違い、発展途上国は先進国がすでに経験した軌跡をたどろうとしており、先進国と発展途上国に分ける程度なら必要なデータがそろうため、世界を先進国(DAC加盟国)と発展途上国(DAC加盟国以外)の2つに分けた。

シナリオ1による結果(水資源危機に対し無策であった場合)

人口は国連中位予測通りに伸び、発展途上国の1人あたりの水需要量は今世紀100年で2000年の先進国レベルまで上昇すると仮定した。水使用量の増加に従って水源の汚染も進むとした。河川流量のうち最大15%(先進国の現状13%、途上国の現状9%)、地下水涵養量のうち最大10%まで開発できるとした。現状技術レベルよりも大幅な水利用効率の向上は見込まない。

このようなシナリオをモデルにインプットした場合、途上国の

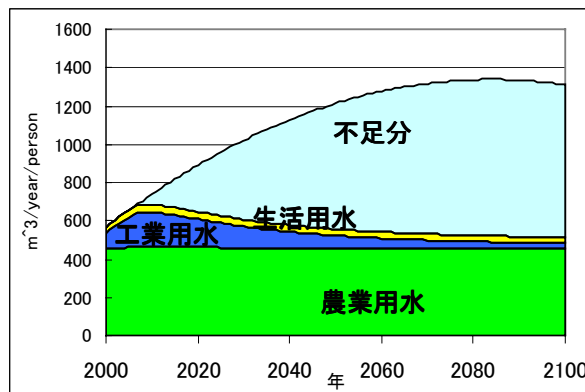


図2 途上国1人あたり取水量

キーワード：水資源危機、成長の限界、SDモデル、フィードバック、発展途上国、工業化、汚染、水利用効率

連絡先：〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 虫明・沖研究室 03-5452-6381

1人あたりの取水量は図2のようになった。途上国では水資源の制約による成長の限界があることがわかった。1人あたり取水可能な量が今世紀前半には減少方向に向かうため、途上国の分野ごと(農業、工業、生活)の水使用割合は先進工業国のような割合に変化することができず、工業化、経済発展は停止もしくは退化しかねない。水を基準とした場合、先進国と途上国の生活水準の格差は縮まらない。先進国においてもグローバルな水資源危機による悪影響(例えば、食料不足や難民流出)の影響は避けられないであろう。

感度分析等の検討

このような水資源危機が予想される中で、どのような対策をどのようなレベルで講ずればよいのかを考慮するために感度分析を行った。その結果、下記のパラメータが非常に重要であることがわかった。

- ・ 食料1単位生産あたりの水使用量
- ・ 工業製品1単位生産あたりの水使用量
- ・ 河川水開発限度(河川流量のうち開発できる割合)
- ・ 河川汚染抑制技術

図3では河川水開発限度により途上国1人あたり取水量が大きく左右されることを示している。また、感度分析以外にもパラメータ間の代替性の検討も行った。

シナリオ2による結果(水資源危機に対し対策を行った場合)

グローバルな水需給バランスは、今世紀前半に早くも非常に厳しい状況になる。そこで、グローバルな水資源危機を回避するためには下記の対策レベル全てが必要であると思われる。

- ・ 河川流量のうち使える割合：現状の2倍(25%)以上途上国の農業の水利用効率：2050年までには現在の先進国並(原単位1→0.7)
- ・ 途上国の工業化は水利用効率向上と並行する必要性(並行しなければ工業化は絶対に不可能)
- ・ 途上国の工業化に伴う1人あたり工業用水の増加量：現在の先進国工業用水取水量の半分(250 m³)

このような条件を満たすシナリオをモデルにインプットした場合、先進国全体の取水量は、図4のようになる。先進国での人口変動は小幅であるため、水利用効率の向上により取水量は減少し、かなりの余裕を持つことができると言える。途上国全体の取水量は、図5のようになる。今世紀中頃に水不足が起こるものの、今世紀後半は水利用効率向上や汚染抑制により解消される。図4、図5中に「途上国の間接消費」「先進国での間接消費」とあるが、これは水不足のため途上国で生産不能な食料を先進国で生産するという水の間接消費を表す。このシナリオでは、途上国においてもグローバルには水資源危機に陥らずに成長可能である。

おわりに

ここに示した内容以外にも多数のシナリオを検討し、今世紀100年の水資源の展望を得ることができた。上記の対策以外にも途上国の人口増の抑制も水資源危機を回避するための手段となり得る。本研究ではグローバルな見方をしたため、地域的な偏在がある実際の水資源を考慮すれば、現実はさらに厳しいことに注意が必要である。

参考文献

- 1) The Limits to Growth(成長の限界), Dennis L. Meadows, Universe Books, 1972.
- 2) Shiklomanov Igor A: Appraisal and Assessment of World Water Resources. Water International, 25, 2000.
- 3) World Resources 1998-99 Database, World Resources Institute, 1998.

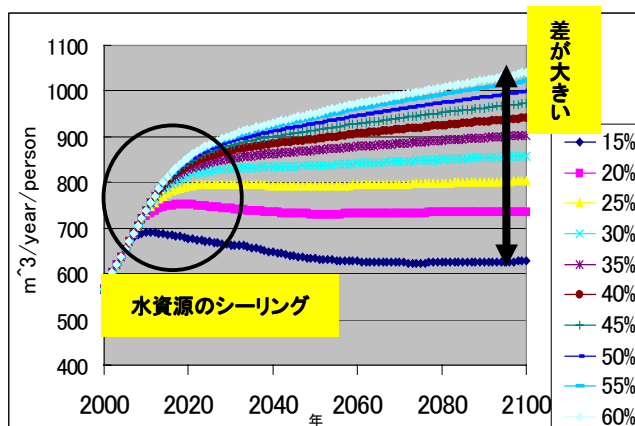


図3 河川水開発限度と途上国1人あたり取水量

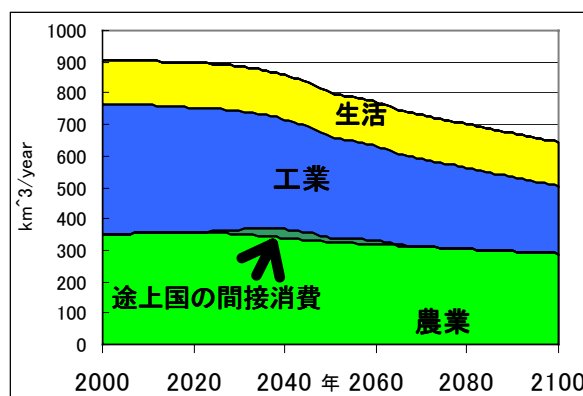


図4 先進国全体の取水量

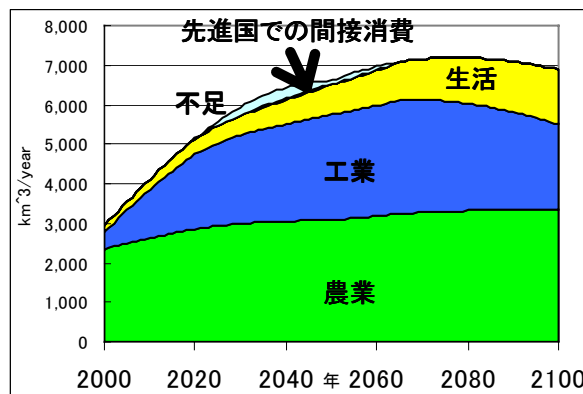


図5 途上国全体の取水量