

# 地球温暖化対策検討部会だより



今回は、気候変動の影響による排水氾濫解析や農地の湛水被害の将来予測等を研究している(独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所の皆川裕樹研究員に『降雨パターンの変動分析と低平地排水への影響評価』について寄稿していただきました。

## 降雨パターンの変動予測と低平地排水への影響評価

### 1. 背景と目的

IPCC 第 4 次評価報告書（2007）によれば「気候システムの温暖化は疑う余地がない」とされており、降雨については将来的に集中豪雨や台風の強大化が予測されている。特に、通常時でも排水が困難な低平農地域ではこの気候変動の影響を受けやすいと考えられ、洪水災害や農地湛水による作物被害等のリスク上昇が懸念される。

一方、農地を対象にした排水計画では 10 年確率程度の雨量を計画基準降雨に設定し、排水関連施設の規模を算定すると定めている。しかし、この計画基準は見直されておらず、気候変動の影響は考慮されていない。さらに、既存の施設は設置されてから長期間経過しているものも多く、当時の設計規模の適正を見極め、必要に応じて管理手法の変更や改修等の対策をとる必要がある。そのためには、気候変動の傾向を予測し、それが与える影響を定量的に評価することが重要となる。

そこで本研究では、特に洪水の原因となるような豪雨イベントに注目し、長期間の実測資料や将来予測データを活用することで過去から現在、あるいは将来の豪雨の変動傾向を分析した。さらに、気候変動の影響を受けやすいと考えられる低平な水田地帯を対象とし、排水モデルによるシミュレーションにより降雨パターンの変化が排水施設や農地に与える影響を評価することを目的としている。

本稿では、これまで取り組んできた石川県での研究成果を例として、その内容を紹介する。

### 2. 降雨データの収集と整理

#### 2.1 実測降雨資料の収集と豪雨の抽出

対象地区は石川県加賀三湖地区とする。降雨資料は、対象地区の近傍で長期間の観測値が実在する金沢地方気象台より、1940～2008 年までの 69 年間の日雨量および時間雨量データを収集した。

まず、分析の対象となる豪雨イベントを収集資料より抽出する。ここでは、豪雨選定の閾値として①日雨量 70mm 以上、もしくは②3 日雨量 100mm 以上の条件を設定し、それらを満たす降雨イベント（3 日雨量に固定）を豪雨として抽出した。その結果、各年の豪雨発生回数は 0～9 回であり（図 1）、全期間で合計 197 個の豪雨が抽出された。抽出した豪雨は資料より 1 時間雨量データ（72 時間分）とし、ここではデータ期間を 3 期間（1940～1962 年、1963～1985 年、1986～2008 年の各 23 年間）に分割し各期間で観測された豪雨の特性を比較することで、その変化傾向を把握した。

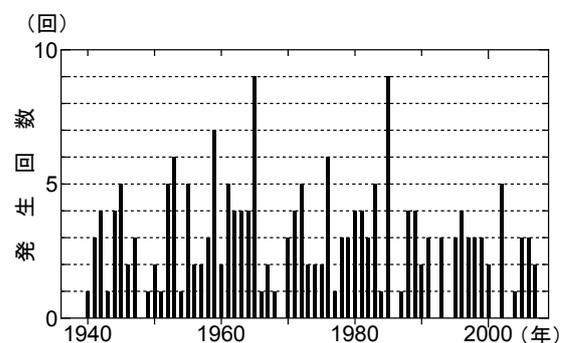


図 1 各年の豪雨の発生回数 (1940～2008 年の 69 年間)

## 2.2 将来の予測降雨データの活用

将来気候の予測手法として世界中で様々な気候モデルが開発されており、それぞれ空間/時間解像度や予測精度の向上にむけて研究が進められている。これらの気候モデルによるシミュレーションで得られる結果を、将来の予測降雨データとして活用する。

気候モデルには、地球全体の気候を予測する全球気候モデルと、詳細な地域の気候を予測する地域気候モデルがある。ここでは、全球気候モデルの一つである MIROC（東大気候システム研究センター、国立環境研究所、地球環境フロンティア研究センターが開発）と、日本付近を 20km の解像度で予測した地域気候モデルである RCM20（気象庁・気象研究所が開発）による日本付近の日雨量データを提供していただいた。データ期間は現在（1981～2000 年）および、近未来（21 世紀半ば）、将来（21 世紀末）で各 20 年間があり、対象とする地区周辺のデータを切り出して利用する（図 2）。

ただし、気候モデルの予測値は、使用するモデルの種類や、基準となる CO<sub>2</sub> 排出シナリオ等によって結果が異なる点に注意する必要がある。

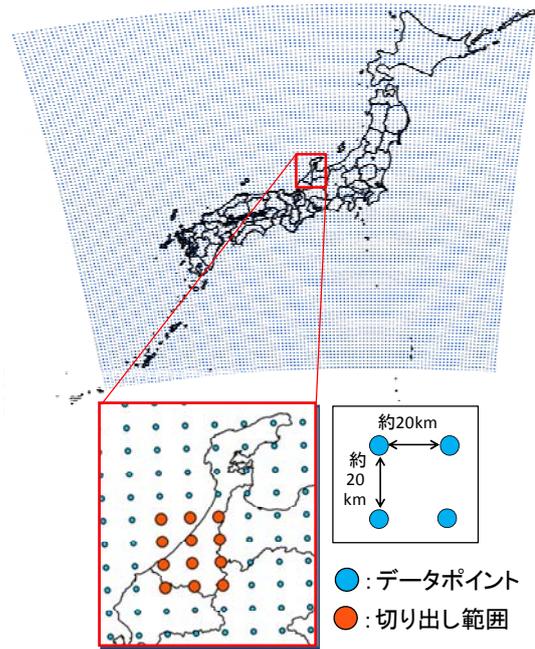


図 2 RCM20 のデータ範囲と切り出し（石川県周辺の切り出し例）

## 3. 豪雨の変化傾向の分析

### 3.1 実測豪雨の変化傾向

実測豪雨の変化傾向は 1 時間単位で分析する。ここでは、各豪雨イベント（72 時間）中の最大 1～48 時間雨量を抽出し、それぞれ期間毎に平均した値を比較した（表 1）。その結果、最大 1 時間雨量の平均には明確な増加傾向は見られなかったものの、最大 6～48 時間雨量の平均値は過去から現在までにやや増加しており（4～9%程度）、近年では短時間に降雨が集中する傾向にあることが示唆された。さらに、72 時間雨量（豪雨イベントの総雨量）も、平均値がやや増加している。

また、各期間で豪雨を発生時期（季節）別に分割し、同様の手法で変化傾向を見た。その結果、近年では冬期（11～1 月）に発生した豪雨で雨量の増加がみられ、今後は冬期の豪雨に対してもその変化傾向を注視する必要性がある<sup>1)</sup>。

表 1 実測の豪雨発生回数（回）と豪雨中の各降雨継続時間の雨量平均値（mm）

期間（年）	発生回数	最大 1時間	最大 3時間	最大 6時間	最大 12時間	最大 24時間	最大 48時間	72時間
1940～1962	69	20.6	38.7	52.6	70.0	91.8	118.9	128.7
1963～1985	78	19.7	39.3	55.5	75.1	97.2	122.6	136.2
1986～2008	50	20.0	39.1	56.9	76.1	99.2	123.4	133.3

### 3.2 実測の短時間雨量の強度分布変化

短時間雨量の代表として、表 1 において過去から雨量平均値が約 8%増加していた最大 6 時間雨量に注目し、その強度分布を各期間で比較した(図 3)。その結果、1986~2008 年の期間では過去の 2 期間と比較して強度分布の形状が変化しており、ピーク位置が高い方に移動していた。

これより、近年では短時間で異常な雨量の頻発は認められないものの、中間程度の強度の雨量の発生頻度が増加しており、その結果、平均雨量値が増加したと考えられる。

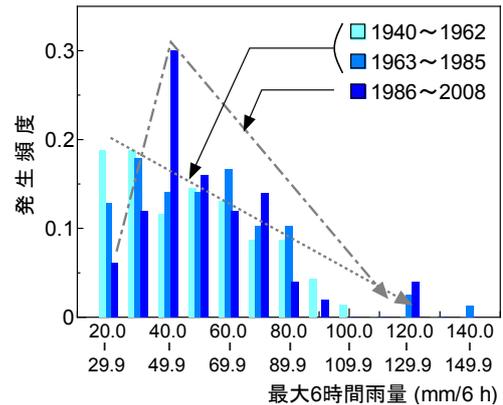


図 3 最大 6 時間雨量の強度分布

### 3.3 確率雨量の将来予測

気候モデルによる現在~将来の各期間で、実測降雨と同じ基準で豪雨を抽出したところ、その発生頻度および雨量は将来的に増加すると予測された。そこで、各期間で確率雨量を求め、その変化度合いを分析した。

確率雨量の計算には Gumbel 分布を用いた。まず現在期間(1981~2000 年)について、気候モデルによる予測値および同期間の実測値から確率雨量を求め比較した。両者に大きな差がある場合は、必要に応じてバイアス補正法の適応を検討する。ここでは、予測値と実測値の確率雨量を確率年毎に比較し、その割合を補正係数として現在~将来の同確率年の確率雨量値に乘じることで補正した<sup>2)</sup>。

補正後の結果を見ると(図 4)、例えば排水計画に用いられる 10 年確率雨量(非超過確率 90%)は近未来で最大となり、雨量が 50mm 程度増加し現在の約 1.23 倍になることが予測された。この値は現在の 30 年確率程度に相当するため、これまでの基準で設計された排水関連施設が、将来的に必要な機能を満たさなく恐れもある。

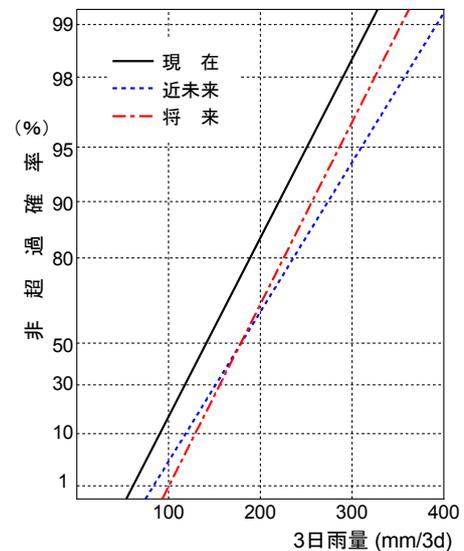


図 4 気候モデルによる将来の確率雨量の変化予測(MIROC の例)

この傾向はあくまで気候モデルによる予測の一例であるが、将来起こりうる気候変動の目安として使用することができる。この結果を参考に様々な状況を想定し、排水への影響を評価する。

## 4. 気候変動が低平地排水に与える影響の評価

### 4.1 排水解析モデルの構築

対象地区において、排水解析モデルを構築する。ここでは、流域内の山間部にはキネマティック流出モデルを、それらが流入する低平部には低平地タンクモデルを適応した。低平地タンクモデルは、実際の排水システムを参考に河川および排水路を 500~2000m 程度で分割した河道タンクを作成し、それに付随する形で水田タンクを設定している。これにより、河道および水田タンク間の水の移動を考慮し、入力となる豪雨に対する各タンクでの流量・水位の変化を推定することができる。

モデルの構築にあたっては、対象地区の排水計画や地形図、数値地図や国土数値情報(国土交通省)を活用するとともに、断面形状等の情報がない排水路等では現地測量を実施した。得られた各情報は GIS 上で整理し、水田面積や河道長は GIS により計算した。また、田面標高は収集した都市計画図(2500 分の 1)より 10cm 単位の精度で読み取った。

## 4.2 入力降雨データの作成

気候変動の影響を評価するため、現在および将来を想定した豪雨データを1時間単位で作成する。ここでは気候モデルにより予測された確率雨量を活用することとした。

確率雨量値は日雨量単位のため、排水モデルへの入力の際には時間雨量への配分と降雨波形の作成が必要となる。実際の排水計画では、日雨量を時間配分する手法として実測の降雨波形を利用する場合や、降雨配分式により配分する場合が考えられるが、ここでは実降雨の特性を考慮した降雨波形の模擬発生手法を検討している。これにより、現在と将来の確率雨量値をそれぞれ時間雨量に配分し、様々なパターンの降雨波形をランダムに発生させることができる。発生した多数の降雨データを排水モデルに入力し、得られた結果を分析する。

## 4.3 排水解析結果の分析と今後の目標

図5に、この地区で実測された豪雨を入力した場合の各水田のピーク湛水深の推定事例を示す。これより、一部の水田では深刻な湛水被害が発生していた可能性が示された。このように、構築した排水モデルに現在と将来を想定した様々な雨量、降雨波形の豪雨データを入力し、河川の水位や農地の湛水深、湛水時間等を推定する。得られた結果から、現在と将来の被害度合いを比較することで、降雨パターンの変化が低平地の排水に与える影響を評価する（現在検討中）。

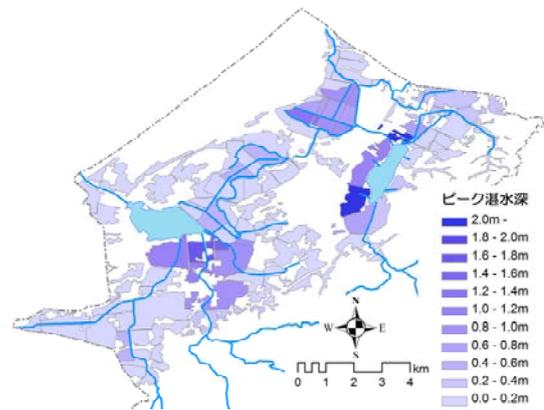


図5 豪雨時における各水田のピーク湛水深の推定事例

今後は、最新の気候モデル予測値の活用や、現在提案している降雨波形の模擬発生手法の有用性について吟味していく。これにより、気候変動が排水に与える影響度合いを定量的に評価する手法を確立するとともに、将来の対応策に繋げることを目標とする。

### 参考文献：

- 1) 皆川裕樹・増本隆夫（2010）：実降雨データと温暖化実験データにみる金沢周辺の豪雨の強度変化と発生分布，応用水文 vol.22, pp.1-10
- 2) 皆川裕樹（2011）：長期間の実測と温暖化実験結果にみる北陸の豪雨強度の変化特性，H22年度農村工学研究所研究成果情報，pp.9-10，（<http://nkk.naro.affrc.go.jp/library/publication/seika/seikajyoho/2010/index.html>）

皆川 裕樹 農村工学研究所 水資源工学担当 研究員  
略 歴

2005年愛媛大学農学部修士課程修了。2007年農村工学研究所採用、2011年から現職。  
研究内容：気候変動に伴う降雨パターンの変動の分析と、それらが低平地排水に与える影響評価に関する研究に従事

◇本部会の情報収集・発信WG◇ 北海道農政部農村振興局農村計画課 農地計画グループ

部会へのご意見お待ちしております

Tel 011-231-4111(内線 27-425)

E-mail nosei.keikaku1@pref.hokkaido.lg.jp

本部会の取組をより身近に考えるきっかけとして、T部会長からのコラムを掲載しています。今回は「**閾値（しきいち）と予防原則**」をお届けします。

## 1. 放射線と閾値

福島原発事故の放射線に関する報道の中で、しばしば「閾値」という言葉が聞かれる。

“しきいち”、又は“いきち”と読む。自然科学系の研究者には自明の言葉であるようだが、ある力以上の外力が働かないと生態反応は起きないという、下限値のような意味に使われるようである。

低線量放射線の健康への影響について、原子力安全委員会事務局が公表した文書によると、放射線の影響は確定的影響と確率的影響に区分されるという<sup>1</sup>。

「確定的影響」は、比較的高い線量を短時間に受けた場合に現れる身体影響で、ある線量（閾値）を超えると現れるとされている。男性の一時不妊（閾値はガンマ線で150mSv相当）や、リンパ球の減少（閾値はガンマ線で500mSv相当）などがある。100mSv以下では確定的影響は現れないと考えられている。確定的影響については放射線量が多くなればなるほど重傷になることがわかっている。

一方、「確率的影響」には、被ばくから一定期間を経た後にある確率で、固形がん、白血病等を発症する。広島や長崎で原子爆弾に起因する放射線を受けた方々の追跡調査の結果からは、100mSvを超える被ばく線量では、被ばく量とその影響の発生率との間に比例性があると認められており、一方、100mSv以下の被ばく線量では、がんリスクが見込まれるものの、統計的な不確かさが大きく疫学的手法によってがん等の確率的影響のリスクを直接明らかに示すことはできないとされている。

国際放射線防護委員会（ICRP）は、100mSv以下の被ばく線量域を含め、線量とその影響の発生率に比例関係があるというモデルに基づいて放射線防護を行うことを推奨している。即ち、確率的影響については「閾値」は設定されていないようである。この閾値の有無やその考え方については、国内でも様々な議論がある。

## 2. 地球温暖化と閾値

閾値については、地球温暖化対策の中でも使われる場合がある。「引き返せない地点」(point of no return) という意味で使われる。温暖化により気温が上昇し、ある地点（閾値）を越えると、仮に人類が温室効果ガスを一切排出しないとしても正のフィードバックにより、ついには温暖化が暴走し制御不能になってしまうという意味で使われる<sup>2</sup>。

正のフィードバックとは、何らかの原因によって、ある変化が起こったとき、その変化をさらに強めるような作用をいい、反対に、その変化を弱めるような作用が働くことを負のフィードバックという。

地球の温度が決まるメカニズムの中にも正のフィードバックがいくつもある。地球の温度が上がると大気に含まれる水蒸気の量が増え、水蒸気が温室効果ガスの役割となり、更に地球の温度が上がる。これは「水蒸気フィードバック」と呼ばれる。また、地表面の氷雪は太陽光エネルギーを反射し温暖化を抑制しているが、地球の温度が上がると地表面の雪や氷が融け、地球がよりたくさん太陽光を吸収し、さらに地球の温度が上がる。これは「雪氷アルベドフィードバック」と呼ばれる。

このほか、土壌温度の上昇による有機物の分解促進によるCO<sub>2</sub>排出の加速、海洋温度上昇によるCO<sub>2</sub>取り込み量の低下による大気中CO<sub>2</sub>の増加、永久凍土の融解によるメタン放出、気温上昇による山火事増加による熱帯雨林の消失とCO<sub>2</sub>排出などが指摘される。しかし、地球には重要な負のフィードバック（地球の温度が上がるほど、たくさんの赤外線を宇宙に放出して冷えようとする）も備わっており、正負のフィードバックの収支によって温暖化を促進するか、安定させるかが決まる。（図1）

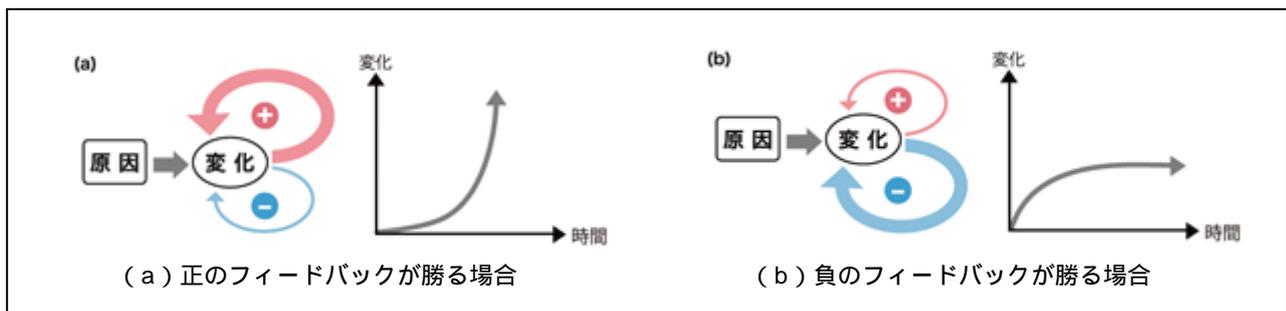


図-1 正・負のフィードバックと変化

この地球温暖化の閾値については、その有無についても研究者により見解が異なるようである。もうすでに閾値を超え、温暖化対策を行っても無駄だという人や、地球の平均気温を産業革命以前と比較して2度以内に抑えれば閾値を越えないという人もいる。一方、正のフィードバックなどないので閾値もないという人や、あってももっと高いという人もいる。地球温暖化予測のような複雑系では、閾値に関する議論も容易には収束しないようである。

このように、環境問題を巡って議論がなかなか収束しない理由は、科学的証明が難しいこと、環境影響がすぐには発生せず長期的な累積によって発生することが多いこと、対策には多大なコストを要するため経済への影響とのバランスをどう考えるかなどが影響していると考えられる。こうした場合、我々はどのように意志決定すべきだろうか。

### 3. 予防原則

ところで、「予防原則」という言葉をご存じか。これは、化学物質や遺伝子組み換えなどの新技術などに対して、人の健康や環境に重大かつ不可逆的な影響を及ぼす恐れがある場合、科学的に因果関係が十分証明されない状況でも、規制措置を可能にする制度や考え方のことである。

1992年の国連環境会議のリオ宣言では、「予防原則」について、以下のように記している。

予防原則は、各国により、その能力に応じて広く適用されなければならない。深刻な、あるいは不可逆的な被害の恐れがある場合には、完全な科学的確実性の欠如が、環境悪化を防止するための費用対効果の大きい対策を延期する理由として使われてはならない。

これは地球温暖化などで、科学的な不確実性を口実に対策を拒否又は遅らせる動きを牽制する意味合いもあると考えられる。

環境経済学者である京都大学の植田和宏教授は、こうした予防を重視する考え方が出されるようになった背景には、少なくとも次の2つがあると指摘している。

第1には、20世紀には、不可逆性を有する環境破壊が少なくなく、生じた後で取り返しのつかなかった環境問題の事例を人間社会が経験してきたこと。水俣病などの日本の公害はその典型例である。

第2に、一度悪化し被害が生じた環境を復元するために要する費用は、その被害を防止するとしたら要したであろう費用よりも、しばしばはるかに大きいことがこれも経験の事後評価から明らかになったこと、と述べている。福島原発の事故もその典型例であろうか。

このように地球温暖化による被害や低線量被曝による健康被害など、閾値が必ずしも科学的に確実でなかったとしても、不可逆的な影響が考えられる場合には、「予防原則」に立脚した対策を講じることが環境経済学の常識のようである。

---

#### 引用文献

- 1 低線量放射線の健康影響について 平成 23 年 5 月 20 日 原子力安全委員会事務局  
(<http://www.nsc.go.jp/info/20110520.html>)
- 2 正のフィードバック  
([http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/20/20-2/qa\\_20-2-j.html](http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/20/20-2/qa_20-2-j.html))
- 3 環境経済学 PP109 植田和弘 岩波文庫 1997/8/8 第5刷