

12. 環境変化に適合する食料生産基盤への機能強化と持続性のあるシステムの構築 に関する研究

研究期間：平成 23 年度～27 年度

プロジェクトリーダー：寒地農業基盤研究グループ 大内幸則

研究担当グループ：寒地農業基盤研究グループ（資源保全、水利基盤）、寒地水圏研究グループ（水産土木）

1. 研究の必要性

地球規模の気候変動が予想され、陸域および沖合海域の食料生産の現場では温暖化の影響や海象変化の兆候が具現化してきている。食料生産の現場は自然環境の変化を直接に受けやすく、影響回避のための基盤整備やシステムの変更など対処方法の確立が必要となっている。

特に、広い生産基盤を有し、国内自給の多くを担っている北海道では、既存の食料生産システムの持続が重要な課題であり、事業主体や管理組織、また、農家・漁家などに対しての具体的な技術開発が求められている。

2. 研究の範囲と達成目標

本プロジェクト研究では、陸域の生産基盤システムに関して、気候変化に対応する農業用水管理技術や大規模水田における効率的な灌漑排水技術、大規模畑地帯における排水施設の機能改善技術、海域の生産基盤システムに関して、沖合の物理環境改変による漁場整備技術の開発を研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 積雪寒冷地の資源を活用し、地域の特徴を活かした灌漑・排水技術の提案
- (2) 北方海域の生物生産性向上技術の提案

3. 個別課題の構成

本プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 積雪寒冷地における気候変動下の農業用水管理に関する研究（平成 23～27 年度）
- (2) 田畑輪作を行う大区画水田における灌漑排水技術と用水計画手法に関する研究（平成 23～27 年度）
- (3) 地下灌漑を伴う泥炭水田輪作圃場における土壌養分制御技術に関する研究（平成 23～27 年度）
- (4) 大規模畑作地帯における排水施設の機能診断に関する研究（平成 23～26 年度）
- (5) 北方海域の物理環境改変による生物生産性の向上に関する研究（平成 23～27 年度）

平成 26 年度は上記の 5 課題を実施している。

4. 研究の成果

本プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、平成 23～26 年度に実施してきた研究と今後の課題について要約すると以下のとおりである。

(1) 積雪寒冷地の資源を活用し、地域の特徴を活かした灌漑・排水技術の提案

1) 積雪寒冷地における気候変動下の農業用水管理に関する研究では、気候変動を想定して、水資源の有効利用が可能な用水管理技術の開発に取り組み、次のような成果を得た。

- ・ 北海道内の農業用ダム(4 箇所)と河川(13 箇所)の 11 年分のデータを用いて、流域の積雪水量を近傍の複数のアメダスデータで推定する手法を開発した。平成 25 年度は、推定に必要な 2 つの係数の合理的な決定方法を明らかにした。推定の手順を整理し、マニュアル案を作成した。
- ・ 空知地域・上川地域のそれぞれで、複数の水利施設を有する支流域を対象とし、将来の 9 種の気候モデルの予

12. 環境変化に適合する食料生産基盤への機能強化と持続性のあるシステム構築に関する研究

測値を用いて気候変動が農業用水の需要と供給に与える影響を明らかにした。ダムや頭首工の流域では、積雪水量の減少による融雪期流出量と灌漑期流出量の減少と融雪時期の早期化が生じると予測された。融雪時期の早期化の程度は、流域に中標高部～高標高部があり、流域を構成する標高区分の偏りが小さい場合に小さくなる。流出量の減少は流域に中標高部～高標高部がない場合に大きくなることがわかった。また、水田を主な灌漑対象とする地域では、用水量の将来変化は小さいと予測された。

- ・ 水稻3品種を対象に、過去の栽培実績から生育予測式を作成し、将来の9種の気候モデルの予測値を用いて、生育時期の変化を予測した。
 - ・ 3カ年にわたって圃場水管理を調査した。また、北海道内の圃場水管理調査の既往データを収集した。これらのデータは、今後の圃場データと合わせて、気候変動で生じる渇水年における節水型の配水管理を行うのに有用な、数日先の水需要予測のためのモデル化に利用する。
 - ・ 将来、頻度が高まると想定される渇水条件下で、水田の水温・地温を低下させないための圃場水管理方法をシミュレーションにより検討した。節水が求められ早朝取水や夜間取水の励行といった取水時間帯の選択が困難な期間では、数日先の気温の低下が予報された場合の冷害対策として湛水深を深めに保つことが有効であることを検証した。
 - ・ 気候変動下における融雪期の貯水池管理と灌漑期間中の貯水池管理・送水管理の方針を決定するために必要な手順の概要を示した。
- 2) 田畑輪作を行う大区画水田における灌漑排水技術と用水計画手法に関する研究では、地下水位制御システムを有する大区画水田圃場における効率的な灌漑排水技術の開発に取り組み、次のような成果を得た。
- ・ 地下灌漑システムが整備された大区画水田において、地下水位や湛水位などの観測結果を基に、地下灌漑による圃場全体への用水の到達状況や生育期別の用水量、取水強度などの用水需要特性を明らかにした。また、無代かき湛水直播栽培、移植栽培、乾田直播栽培の3種の方式で水稻作を行ったときの地下水位変動は、代かきの有無によってその傾向が異なるが、栽培方式の違いによる浸透量の差は小さいことを示した。また、このときの用水量と有効雨量の和である供給水量についても、初期取水から中干し後の再湛水までの期間では、圃場の地下水位が高く、浸透量が小さいことから、栽培方式による差はほとんどみられなかった。
 - ・ 43筆の圃場群（合計75ha）を対象として、圃場の水需要特性を反映させた配水シミュレーションを行い、水需要の集中しやすい時期に同時に取水できる圃場数の割合などを示した。シミュレーションの結果を基にして、水田への安定した用水供給のための配水管理技術を提案した。
 - ・ 水質負荷の流出抑制に配慮した圃場水管理手法の開発を目的として、圃場湛水と暗渠排水の水質調査を行った。圃場湛水の全窒素および全リンの濃度は、移植栽培圃場では代かき直後に高くなっており、乾田直播栽培では灌漑期初期の比較的長い期間に高濃度となる傾向がみられた。地表排水量と暗渠排水量を用いて計算した全窒素の負荷流出は、灌漑期初期だけではなく、6月下旬の中干しでも大きな値となった。これらの水質濃度および負荷流出特性を基にして、流出負荷抑制に配慮した圃場管理手法として、①圃場湛水および暗渠排水の水質濃度に応じて排水方法を選択し、排水の水質濃度を低下させること、②用水量の節約や浅水管理での排水量抑制により排水量を削減することを提案した。
- 3) 地下灌漑を伴う泥炭水田輪作圃場における土壌養分制御技術に関する研究では、良食味米生産を目標として、地下灌漑による土壌養分制御技術の開発に取り組み、次のような成果を得た。
- ・ 地下灌漑利用時の土壌養水分の動態を把握することを目的として、地下灌漑施設が整備された下層に泥炭が厚く堆積している4枚の大区画水田輪作圃場で、土壌断面調査、土壌理化学性分析、土壌水分ポテンシャル観測および米の低タンパク化を目的とした水管理(一定の間隔で給水と排水を複数回繰り返す)の前後での土中水の成分分析を実施した。
 - ・ その結果、地下灌漑施設を利用した低タンパク化対策による地下水位の上昇・下降は、暗渠の近傍では暗渠埋設深近くまで変動していたが、暗渠と暗渠の間での変動幅は狭いことが確認できた。そのため、圃場全体で均一に土壌の還元状態は解消しておらず、無機態窒素の硝酸化成や洗脱が期待どおりには進行していないと考えられた。また、地下水は速やかに下降していても土壌含水率の低下は大きく遅れること、水溶性の硝酸態窒素の濃度は、暗渠排水では低く、地表湛水で高いことが明らかとなった。

12. 環境変化に適合する食料生産基盤への機能強化と持続性のあるシステム構築に関する研究

4) 大規模畑作地帯における排水施設の機能診断に関する研究では、気候変動による降水量の増加などの環境変化の下でも排水施設を適切に維持できる技術の開発に取り組み、次のような成果を得た。

- ・ 北海道内の明渠排水路を対象とした過去の機能診断結果を用いて、北海道でよく用いられる護岸形式である連節ブロック、積ブロック、鋼矢板、コンクリート柵渠の排水路について性能低下とその要因を分析した。
- ・ また、4つの護岸形式毎の構成部材の変状に着目して、材料劣化に基づく健全度指標の立案および適用性の検証を行い、明渠排水路の機能評価手法の試案を作成した。
- ・ さらに、試案に則って現地で機能診断を実施して、試案の適用性評価と運用上の課題抽出を行い、その結果をもとに健全度指標を改良した。この健全度指標を用いた機能評価手法についてとりまとめ、明渠排水路の機能診断マニュアルを作成した。

今後は、平成26年度に完了した4)については研究成果の普及などフォローアップに努める。残る1)～3)については、平成27年度の実証的な観測・試験等のデータも含めて、詳細な分析・解析を行い、所期の目標に向かって各研究成果を取りまとめる予定である。

(2) 北方海域の生物生産性向上技術の提案

北方海域の生物生産性の向上を図るための漁場整備に必要な技術開発を行うものであり、当海域における基礎生産構造を解明し、適切な工法等の効果的な事業推進に向けた効果の評価手法の開発に取り組み、次のような成果を得た。

- ・ 四季の現地観測を行い、夏季は成層化して表層で栄養塩の枯渇があり、秋季は対馬暖流の影響による水温上昇で基礎生産量が夏季以下となった。冬季は表層冷却による鉛直混合により貧栄養状態は解消、植物プランクトンの活性が低く基礎生産は低位であった。春季は日射の増加よりブルームが発生し、表層で消費された栄養塩も表層冷却による鉛直混合で供給されるため、高い基礎生産が持続することがわかった。
- ・ 現地培養試験などで低次生態系モデルに使用される生物パラメーターを取得し、春期ブルームの夜間鉛直混合の効果、融雪出水の効果、栄養塩が枯渇する時期に硝酸塩の供給効果について試算し、当海域の基礎生産のポテンシャルを示すことができた。
- ・ 四季の現地観測結果から水塊構造の周年の変動やその特徴を基に、海洋モデルを用いた物理環境（水温、塩分や流況）の現況再現を行い、この再現性を確認した。
- ・ 保護育成礁による資源保護効果を検討するため、武蔵堆周辺海域で当歳魚が多く分布するエリアを推定し、保護エリアを設けて当歳魚を保護した場合に回復する資源量の試算を行った。
- ・ 湧昇マウンド礁のような急激な水深変化を伴う局所的な流れを精度良く評価するための数値モデルを構築し、底層の栄養塩を混合層内へ供給した場合の湧昇効果を検証するなど、再現性を確認した。

今後は、湧昇流発生マウンドおよび保護育成礁による漁場開発効果の総合的な評価手法について、検討を進めて行く予定である。

A STUDY ON FUNCTIONAL STRENGTHENING OF FOOD SUPPLY INFRASTRUCTURE IN LINE WITH ENVIRONMENTAL CHANGE AND ESTABLISHMENT OF A SUSTAINABLE SYSTEM

Research Period: FY 2011 - 2015

Project Leader: Director of Cold-Region Agricultural Development Research Group
OUCHI Yukinori

Research Group: Cold-Region Agricultural Development Research Group (Rural Resources Conservation, Irrigation and Drainage Facilities)
Cold-Region Hydraulic and Aquatic Environment Engineering Research Group (Fisheries Engineering)

Abstract: Climate change is expected to progress worldwide, and the effects of global warming as well as signs of changes in hydrographic conditions are seen today in food production areas both on land and in offshore seas. Food production areas are susceptible to the direct effects of natural environmental changes, making it necessary to establish countermeasures such as the development of infrastructure to avoid these effects and system changes.

This research project addresses the development of technologies related to land-based production infrastructure systems that enable agricultural water management in response to climate change, efficient irrigation and drainage for large paddy fields, improvement in the function of drainage systems in large upland farming areas, and technologies related to production infrastructure systems in marine areas to support fishing ground improvement by modifying offshore physical environments.

The research activities implemented in FY 2011—2014 are outlined below.

- (1) Proposal of irrigation and drainage technologies leveraging resources in cold snowy regions and local characteristics
 - 1) A study on agricultural water management in cold snowy regions under the influence on climate change

By using data on agricultural dams and rivers in Hokkaido that was collected over a period of 11 years, a method was developed for estimating snow water equivalent in catchment basins from multiple data collected in nearby areas by AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System). The effect of climate change on agricultural water supply and demand was analyzed with the use of nine climate models. As a result, it was predicted that, in basin areas with dams or head works, decreases in snow water equivalent would cause decreases in the runoff during the snowmelt season and the irrigation season and would cause the early arrival of snowmelt season. A growth prediction equation was created by using the accumulated temperature data. The growth stages become earlier, the degree was confirmed to be different by cultivation method. A paddy field water management method that prevents decreases in water temperature and soil temperature in paddy fields was considered through simulation under conditions of drought, which is expected to increase in frequency in the future. It was verified that, during a period when water saving is required but water intake during the ideal time (e.g., early morning or nighttime) is difficult, maintaining a relatively great depth of ponding is effective as a measure against cool weather when low temperatures are forecast with a lead time of a few days. Procedures necessary for determining policies are described, with respect to reservoir management during the snowmelt season and reservoir management

and water supply management during the irrigation season, in view of climate change.

- 2) A study on irrigation and drainage technologies for large paddy field plots where rice and upland crops are grown in rotation and on techniques for irrigation planning

For large paddy fields with a subirrigation system, the characteristics of irrigation water demand were clarified based on observations of groundwater level and ponding water level, including the state of irrigation water distribution to entire paddy fields, the irrigation requirements at each growth stage under the subirrigation system and water intake strength. The percentage of area where simultaneous water intake is possible during periods of intensified water demand was clarified by simulating the water distribution that reflects the water demand characteristics of paddy fields. Based on the simulations, water distribution management techniques were proposed for the stable supply of irrigation water to paddy fields. A water quality survey for submerged fields and underdrainage was also conducted toward developing a paddy field water management method in view of the need to suppress the outflow of water quality loads. Based on the data, two techniques were proposed to be included in the paddy field water management method, in the light of the need to suppress the outflow of water quality loads: ①using a drainage method suitable for the concentrations of total nitrogen and total phosphorus in submerged fields and underdrainage for decreasing the concentrations of these elements in drainage water, and ②reducing drainage discharge by conserving irrigation water and controlling the drainage volume through shallow water management.

- 3) A study on soil nutrient control technology in peaty paddy-upland rotation field areas with subsurface irrigation

To examine the characteristics of soil nutrients in situations where subsurface irrigation is used, a study was performed on four large blocks of paddy-upland rotation field with thick bottom-layer peat accumulation in which such irrigation was applied. The investigation involved a soil profile survey, physicochemical soil property analysis, soil moisture potential observation, and componential analysis of water in the soil before and after water management for the reduction of rice protein content. The results revealed that fluctuations in the ground water level resulting from the protein content reduction work using a subsurface irrigation system (based on five cycles with two days of water supply and one day of drainage each) did not spread sufficiently into spaces between underdrains, causing high water retention in soil, insufficient progress of nitrification and leaching of inorganic nitrogen. Against this background, there is a need to develop a subsurface irrigation method that can improve the effectiveness of work to reduce rice protein content.

- 4) A study on the diagnosis of drainage function in a large-scale upland field area

Past diagnoses of functionality for open-ditch drainage canals in Hokkaido were used for analyzing the performance degradation and their factors regarding common revetment-type drainages in Hokkaido which were built by using articulated blocks, laying blocks, steel sheet piles, or concrete frames and slabs. Focusing on the deformed components of these four different kinds of revetment-type open-ditch drainages, the authors designed a material soundness index on the basis of the extent of deterioration, verified the applicability of the index, and drafted a method for evaluating open-ditch drainage functionality. Additionally, the drafted method was used for on-site diagnoses of the functionality of revetment-type open-ditch drainages to evaluate the applicability of the authors' proposal and to identify problems in implementing the proposal. Based on the findings, the soundness index was revised. The functionality evaluation method

utilizing the revised soundness index was compiled into a manual on functionality diagnoses of open ditch drainages.

(2) Proposal of technologies for improving biological productivity in northern waters

- A research on development of technologies for improved biological productivity by physical methods in the northern ocean area

This research tries to elucidate the primary productivity in the northern ocean area, to develop technologies for improved biological productivity such as fertilization of the ocean and protecting young fish. Ecosystem and population dynamics models will be developed to predict and evaluate effects.

Between 2011 and 2013, field observations such as currents, water quality, plankton and the primary productivity have executed in the exclusive economic zone of the Sea of Japan around Hokkaido. As a result, the primary production rate of this sea area was estimated. In 2014, the effect of the protection of resource was predicted. And the computing model of artificial upwelling producing structure was made, and a local flow was calculated.

Keywords: climate change, groundwater level control, performance diagnosis, primary productivity, fertilization