

農業生産基盤分野における
気候変動適応にも活用可能な
技術の手引き

(案)

平成 31 年 3 月

農 林 水 産 省 農 村 振 興 局
農村政策部 鳥獣対策・農村環境課

はじめに

近年、気温の上昇、大雨の頻度の増加や、農作物の品質低下、動植物の分布域の変化、熱中症リスクの増加など、気候変動の影響が全国各地で発生していますが、こうした影響は、今後さらに長期にわたり拡大することが懸念されています。

こうした状況を踏まえ、平成 30 年 2 月に閣議決定された気候変動適応法において、我が国における気候変動適応策の法的な位置付けが明確化され、国、地方公共団体、事業者、国民が連携・協力して適応策を推進するための仕組みが整備されました。

気候に左右される要素が多い農業分野は、農作物の品質をはじめとした気候変動による影響が広く懸念され、気候変動に対する適応策の中でも農業分野に関するものが大きな比重を占めています。農業の基礎をなす農業生産基盤についても、水利・防災面を中心に、気候変動による様々な影響が拡大するものと予測されています。

一方で、整備された農業生産基盤の特性を活用することにより、気候変動による農業への影響を低減、回避できる場合も考えられます。

こうした視点から、本手引きでは、農業生産基盤分野において確立し活用されている技術等のうち、高温障害など気候変動の影響による農作物の品質低下への適応にも活用可能な手法を抽出し、既存文献や現地調査の結果に基づき、期待される効果や、活用に当たっての留意事項等について取りまとめたものです。

本手引きが、農業生産基盤整備に係る事業を担う方々、農業生産基盤の運用・維持管理を担う方々、実際に農業を営まれている方々にとって、気候変動の影響を低減、回避するうえで一助となれば幸いです。

平成 31 年 3 月

農林水産省 農村振興局
農村政策部 鳥獣対策・農村環境課

目次

第1章 農業生産基盤分野における気候変動の影響

1-1. 気候変動の概要	1
1-2. 農業生産分野における気候変動の影響	4
1-2-1. すでに現れている農業生産分野への影響	4
1-2-2. 農業生産基盤及び農作物への影響の将来予測	6
1-2-3. 気候変動が農業生産分野に与える影響	10

第2章 農業生産基盤分野において気候変動適応にも活用可能な技術等

2-1. 農業生産基盤分野における気候変動への対応と適応技術	13
2-2. 気候変動適応にも活用可能な技術とその考え方	14

第3章 農業生産基盤分野における適応技術の仕組み

3-1. ICT を用いたほ場配水／用水管理システムの活用	18
3-1-1. 技術等の本来の機能の概要	18
3-1-2. 気候変動に対する適応技術としての活用	20
3-1-3. 具体的な活用と効果	20
3-1-4. 適応条件、留意事項・課題	23
3-2. 地下かんがいシステムの活用	24
3-2-1. 技術等の本来の機能の概要	24
3-2-2. 気候変動に対する適応技術としての活用	25
3-2-3. 具体的な活用と効果	26
3-2-4. 適応条件、留意事項・課題	30
3-3. パイプライン等の活用	31
3-3-1. 技術等の本来の機能の概要	31
3-3-2. 気候変動に対する適応技術としての活用	33
3-3-3. 具体的な活用と効果	34
3-3-4. 適応条件、留意事項・課題	37
3-4. ダム貯水池等の選択取水設備の活用	38
3-4-1. 技術等の本来の機能の概要	38
3-4-2. 気候変動に対する適応技術としての活用	40
3-4-3. 具体的な活用と効果	40
3-4-4. 適応条件、留意事項・課題	42

<<要約>>

1. 農業生産基盤における気候変動の影響

気候変動に伴う気象・水文の変化と、農作物や農業生産基盤への影響としては、以下のものが挙げられます。これらの影響はすでに現れていますが、将来的に、さらに影響が拡大すると予測されています。

気象・水文の変化

- ①年平均気温の上昇
- ②降水形態の変化
(渇水の増加や長期化)
(大雨や短時間強雨の増加)
- ③平均海面水位の上昇



①農作物への影響

- ・高温による品質低下、収量減

②農業生産基盤への影響

- ・高温による水稲の品質低下等を回避するため、田植え時期や用水管理方法の変更等（水資源利用への影響）が必要となる可能性
- ・融雪の早期化や融雪流出量の減少による、農業用水需要期（4～5月）の取水への影響
- ・集中豪雨の発生頻度や降雨強度の増加による、農地の湛水被害等のリスク増加

2. 農業生産基盤において気候変動適応にも活用可能な技術等

農業生産基盤分野で既に利用されているか実用可能段階にある技術の中には、本来の用途とは異なる視点で、気候変動適応にも活用することが可能なものがあります。

本手引きでは、次の4つの技術を対象として、本来の用途とは異なる視点から、高温障害対策等の気候変動適応への活用可能性、留意点等について解説します。

- ①ICT^注を用いたほ場配水/用水管理システムの活用
- ②地下かんがいシステムの活用
- ③パイプライン等の活用
- ④ダム貯水池等の選択取水設備の活用

注) Information and Communication Technology (情報通信技術) の略

3. 農業生産基盤分野における気候変動適応にも活用可能な技術の仕組みと活用

対象とする4つの技術の概要（本来の用途、仕組み）、気候変動に対する適応技術としての活用方法、留意事項（適応条件、課題等）は、次表のとおりです。

適応技術	技術の概要 (本来の用途・仕組み)	気候変動適応技術としての活用		留意事項等
		対象事象	用途・仕組み	
① ICTを用いたほ場配水/用水管理システムの活用	生産者のきめ細かな水管理を支援し、用水のロスを軽減する配水/用水管理システム	・ 気温上昇、渇水の増加に伴う用水不足 ・ 気温上昇に伴う高温障害	- 水位自動監視制御による、水管理の効率化・配水管理の最適化 - 夜間や気温上昇時の自動給水管理	・ 水管理方法の設定 ・ システム管理技術の習得等
② 地下かんがいシステムの活用	暗渠排水管を利用して地中でかんがいすることにより、表土からの蒸発を抑制し、効率的に用水供給	・ 大雨に伴う農地湿潤化 ・ 気温上昇に伴う高温障害 ・ 気温上昇に伴う乾燥化 ・ 気温上昇、渇水の増加に伴う用水不足 ・ 海面水位上昇に伴う塩害	- 導入時の弾丸暗渠による排水性向上 - 弾丸暗渠による排水性向上で根圏生育促進 - ほ場水分維持による過乾燥による生育不良軽減 - ICTとの組み合わせできめ細かな水管理 - 地下かんがいにより、根圏の塩分を効率的に排除	・ ほ場の透水係数が適正な範囲にあることが必要 ・ 高温障害に対しては、パイプライン等で冷涼な用水が供給されると効果的
③ パイプライン等の活用	用水のロスを軽減する配水/用水システム	・ 気温上昇に伴う高温障害	送水過程の水温上昇を抑制し、冷涼水供給	・ 冷涼な用水を供給できる範囲 等
④ ダム貯水池等の選択取水設備の活用	水温や濁度の鉛直分布に応じた、任意の水深の水を取水	・ 気温上昇に伴う高温障害 ・ 気温上昇に伴う貯水池の水質悪化	- 中層の冷涼水を取水 - アオコを多く含む表層水の用水取水を回避	・ ダムから直接取水していない場合は、効果減 ・ 下流河川に影響 等

第 1 章

農業生産基盤分野における気候変動の影響

1-1. 気候変動の概要

気候変動に伴う気象・水文の変化として、以下の事象が挙げられます。

- ①年平均気温の上昇
- ②降水形態の変化(渇水の増加や長期化、大雨や短時間強雨の増加)
- ③平均海面水位の上昇

【解説】

私たちが日々の暮らしの中で排出している温室効果ガスにより、地球の平均気温が上昇していますが、今後も平均気温が上昇するにつれて、様々な気象・水文の変化が現れ、極端な気象現象が増えるものと考えられています。

具体的には、気候変動に伴い、以下①～⑥のような気象・水文の変化が生じると予測されています。

- ①年平均気温は、20 世紀末と比較して、全国で平均 1.1 ～ 4.4 °C 上昇、日最高気温の年平均値は、全国で平均 1.1 ～ 4.3°C 上昇するなどの予測がある。また特に北日本で上昇幅が大きく、沖縄・奄美では比較的小さい。
- ②真夏日(日最高気温 30 °C 以上)の年間日数は、全国で平均 12.4～ 52.8 日増加するとの予測がある。真夏日の年間日数は、特に西日本及び沖縄・奄美での増加幅が大きい。
- ③年降水量については、増加と減少両方の予測があり、明瞭な変化傾向はない。季節や時期的、局地的な降雨の偏りにより極端現象(多雨、渇水)の発生が増加することが懸念されている。
- ④年最深積雪・降雪量は 20 世紀末と比較して減少し、特に東日本 日本海側で減少量が大きくなる。
- ⑤21 世紀末までに、世界の海岸線の約 70%で、世界平均の海面水位変化の±20 %以内の大きさの海面水位変化が起こると予測されている。なお、日本沿岸の海面水位は、明瞭な上昇傾向が見られず、海洋の十年規模の変動等、様々な要因で変動しているため、気候変動の影響については明らかではない。
- ⑥強い台風の発生数、台風の最大強度、最大強度時の降水強度は、現在と比較して増加する傾向があるとの予測がある。

(出典:「農林水産省気候変動適応計画」平成 30 年 11 月改定 農林水産省)

(参考1) 日本国内における気温及び降水量の経年変化

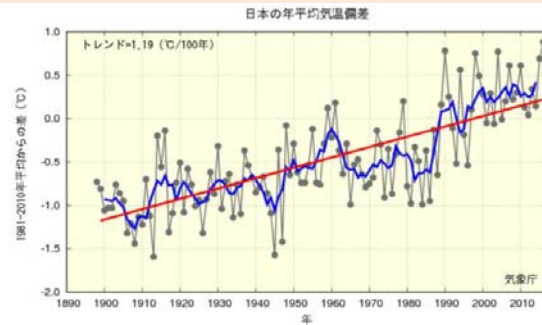


図 2.3.3 日本の年平均気温の経年変化
(1898～2016 年)

黒線は、国内 15 観測地点での年平均気温の基準値からの偏差を平均した値を示す。青線は偏差の 5 年移動平均を示し、赤線は期間にわたる変化傾向を示す。基準値は 1981～2010 年の平均値。出典：気象庁 (2017e) 図 2.1-3

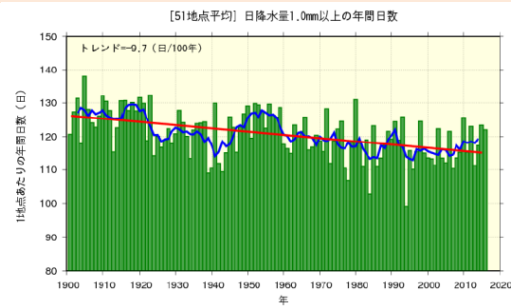


図 2.4.5 日降水量 1.0mm 以上の年間日数の経年変化

国内 51 地点の出現日数から求めた 1 地点あたりの年間日数 (1901～2016 年)。棒グラフは各年の値、青線は 5 年移動平均、赤線は期間にわたる変化傾向を示す。出典：気象庁 (2017e) 図 2.2-6

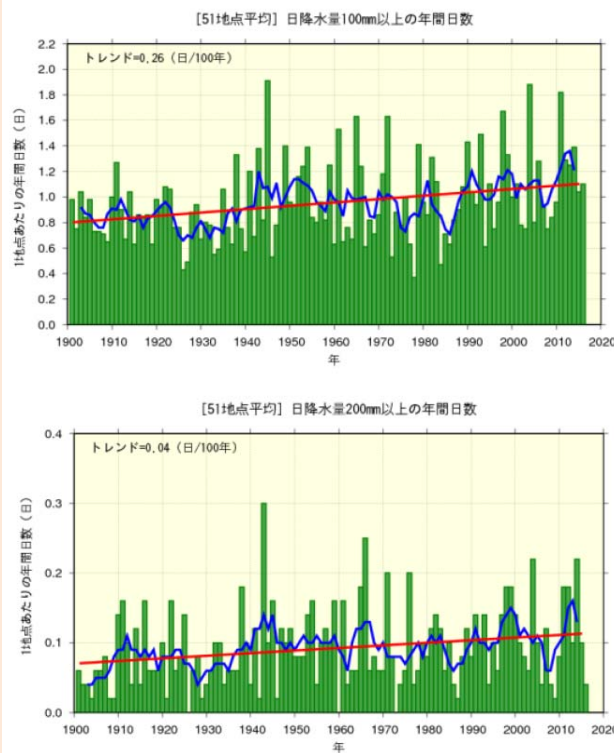


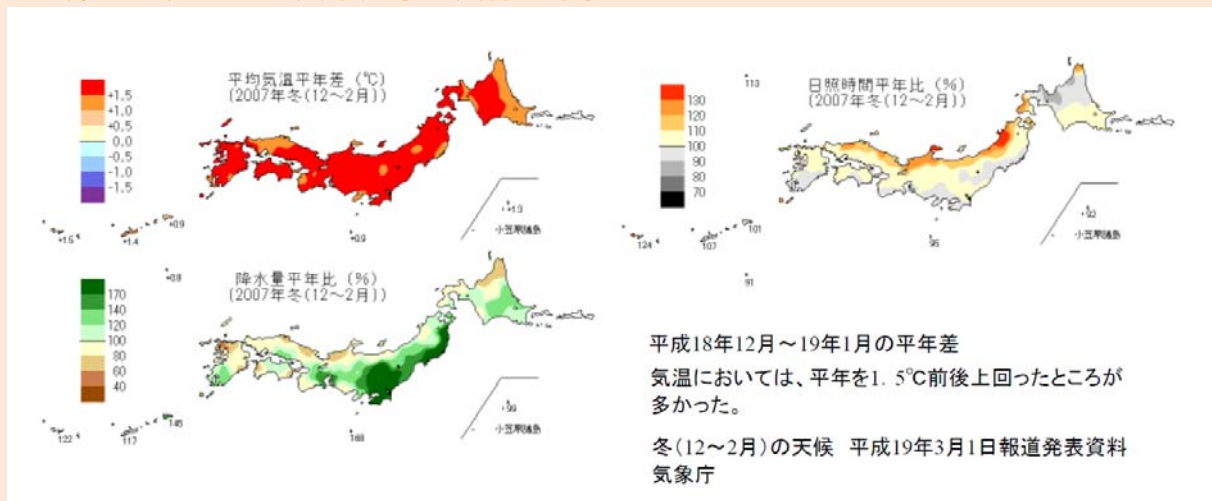
図 2.4.4 日降水量 100mm 以上 (上)、
200mm 以上 (下) の年間日数の経年変化

国内 51 地点の出現日数から求めた 1 地点あたりの年間日数 (1901～2016 年)。棒グラフは各年の値、青線は 5 年移動平均、赤線は期間にわたる変化傾向を示す。出典：気象庁 (2017e) 図 2.2-5

(出典：「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018
～日本の気候変動とその影響～」

2018 年 2 月 環境省 文部科学省 農林水産省 国土交通省 気象庁)

(参考2) 近年の異常気象の具体的事例



(出典:「農業農村整備における地球温暖化対応策のあり方」

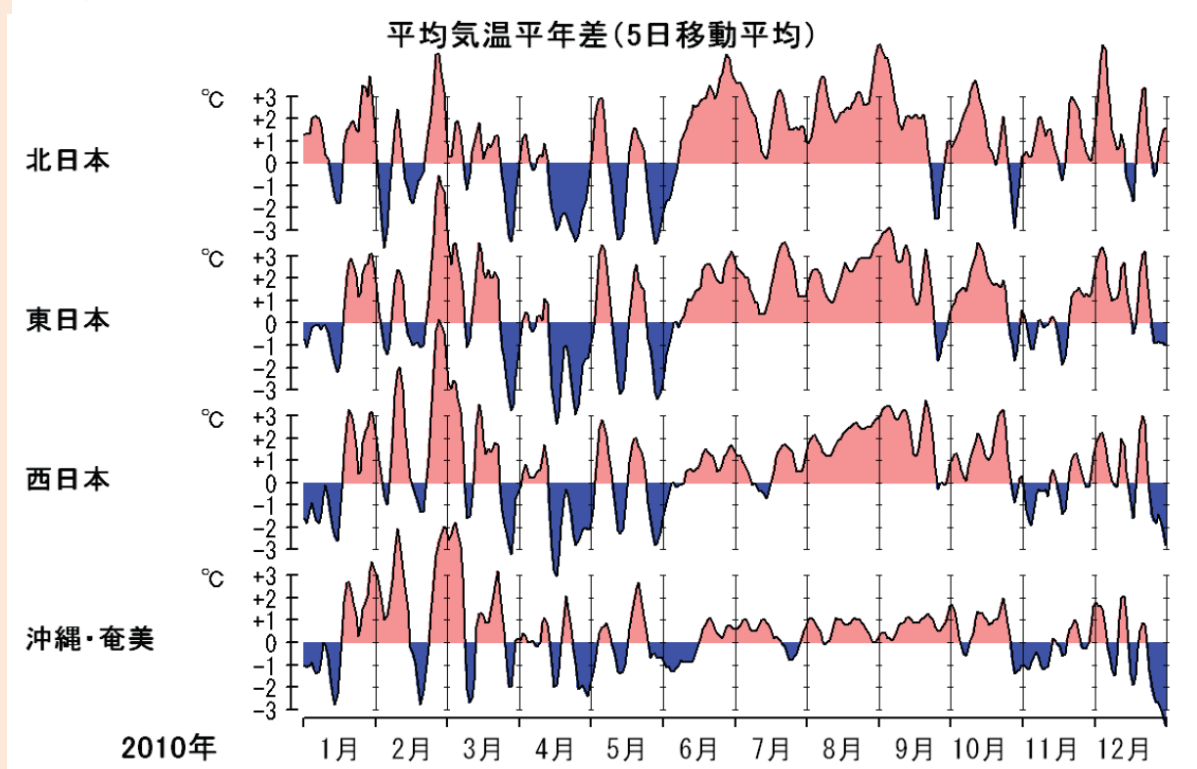
平成20年1月30日 農業農村整備における地球温暖化対応検討会)

夏(6～8月):

○夏の平均気温は、北日本から西日本にかけてかなり高かった

○夏の降水量は、北日本日本海側でかなり多かった

夏は北日本から西日本にかけて顕著に気温が高かった。長期間にわたる気温観測データが存在し、都市化による影響の少ない17地点の气象台などで平均した日本の夏の平均気温は、1898年以降の113年間で第1位の高い記録となった。また、北日本と東日本では1946年以来第1位の高温となり、全国154地点のうち55地点で夏の平均気温の高い記録を更新した。特に、強い太平洋高気圧に覆われることが多かった8月の気温が高く、77地点で月平均気温の高い記録を更新した。



(出典:「2010年(平成22年)の日本の天候」平成23年1月4日 気象庁)

1-2. 農業生産分野における気候変動の影響

農業生産分野における気候変動の影響として、主に以下の事象が発生、または予測されています。

①農作物への影響

- ・ 高温による品質の低下や収量の減少
 （水稲：白未熟粒しろみじゅくりゅうの発生、胴割粒どうわれりゅうの発生、一等米比率の低下等）
 （果樹：果実品質の低下、隔年結果の増大、生理落果の助長等）
 （土地利用型作物：晩霜ばんそうによる凍霜害、多雨による湿害の発生等）
 （園芸作物：収穫期の変動、生育障害の発生頻度の増加等）

②農業生産基盤への影響

- ・ 高温による水稲の品質低下等を回避するため、田植え時期や用水管理方法の変更等が必要になる可能性（水資源の利用形態に影響）
- ・ 融雪の早期化や融雪流出量の減少による、農業用水の需要が大きい4月から5月の取水への影響
- ・ 集中豪雨の発生頻度や降雨強度の増加による、農地の湛水被害等リスクの増加

【解説】

1-2-1. すでに現れている農業生産分野への影響

平成19年(2007)年8月の記録的な高温や局地的な豪雨など、近年、わが国の各地において異常気象が頻繁に見られるようになっていきます。これらの異常気象は、農作物や、その生産基盤である農地、農業用水に、以下のような様々な影響を与えています。

- ① 水稲について、登熟期の高温の影響により、白未熟粒や胴割米などが増加し、品質が低下。
- ② 害虫(カメムシなど)の棲息場所となる畦畔・法面の雑草の過繁茂などによって、虫害(斑点米)が多数発生。
- ③ 大豆について、登熟期の高温少雨により、生育不良、着莢不良、青立ち株などが増加し、収量、品質が低下。
- ④ 茶・果樹について、気温上昇に伴う冬季の耐凍性獲得不全や春先の早期萌芽などにより、気温の低下に際し凍霜害が発生。
- ⑤ みかん、りんご、ぶどうなどの果実について、日焼け、浮き皮、着色不良などの障害が発生。

- ⑥ 集中豪雨の頻発により、農地での湛水被害、地すべりなどの農地斜面災害が増加。
- ⑦ 記録的な小雨やダム等の水源の枯渇により、かんがい用水の取水を制限する事態が発生。

(参考3) 高温による水稻、果樹、施設野菜の被害例



図 3.2.1 白未熟粒（上）、胴割粒（下）

出典：農林水産省（2016a）



図 3.2.6 ぶどう（ピオーネ）の着色不良（左上）、りんご（ふじ）の日焼け果（右上）
りんごの着色不良（左下）、
ももの水浸状果肉褐変症（右下）

出典：農林水産省（2016a）、農林水産省（2016b）、
農林水産省（2017）



図 3.2.5 裂果したトマト（左）、着色不良のトマト（中央）、炭そ病のいちご（右）

出典：農林水産省（2015b）、農林水産省（2016a）

- コメは、出穂後約 20 日間（登熟期間）の日平均気温が 26～27℃以上で白未熟粒（高温等の障害によりデンプンが十分に詰まらず白く濁ること）の発生割合が増加し、出穂後 10 日間の最高気温が 32℃以上で胴割粒（高温等により亀裂が生じること）の発生割合が増加する等、登熟期間の気温によって大きな影響を受けることが知られている。
- ぶどう、りんご、かき、うんしゅうみかんでは、夏季の高温・少雨が果樹生産に及ぼす影響として、強い日射と高温による日焼け果の発生、高温が続くことによる着色不良等が報告されている。
- 施設野菜でも、高温により、トマトの着果不良や裂果・着色不良、いちごの炭そ病（病原菌による病害）等の病害が生じている。

（出典：「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018
～日本の気候変動とその影響～」

2018 年 2 月 環境省 文部科学省 農林水産省 国土交通省 気象庁）

1-2-2. 農業生産基盤及び農作物への影響の将来予測

気候変動が進行した場合、農業生産基盤や農作物には以下のような影響があるものと将来予測されています。

(1) 農業生産基盤

極端現象(多雨・渇水)の増大や気温の上昇により、全国的に農業生産基盤への影響が及ぶことが予測されています。特に、融雪水を水資源として利用している地域では、融雪の早期化や融雪流出量の減少により、農業用水の需要が大きい4～5月の取水に大きな影響が生じることが予測されています。

また、集中豪雨の発生頻度や降雨強度の増加により、農地の湛水被害等のリスクが増加することが予測されています。

さらに、将来、北日本(東北、北陸地域)で代かき期に利用可能な水量が減少するものと予測されています。また、梅雨期や台風期に当たる6～10月では、全国的に洪水リスクが増加することが予測されています。

(2) 水稲

① 収量への影響

将来のコメ収量を予測した研究によると、2050年には平均気温の上昇(2℃)により、北海道、東北、北陸の米どころでは、収量が増加すると予測されていますが、このまま気温の上昇が続く場合、2061～2080年頃をピークに減少に転じることが予測されています。

② 品質への影響

登熟期間の気温が上昇することにより、高温耐性品種への作付転換が進まない場合、一等米の比率が全国的に低下することが予測されています。

特に、九州地方の一等米比率は、高温耐性品種への転換が進まない場合、今世紀半ばに30%、今世紀末に約40%低下することを示す報告があります。

大気二酸化炭素を高めた屋外水田のイネの栽培実験では、高温・高二酸化炭素濃度下では、コメの品質の重要な指標である整粒率(未熟米、割米等を除いた、整った米粒の割合)が低下するとの結果が示されています。

③ 病虫害への影響

害虫については、害虫・天敵相の構成が変化すると予想され、病害については、イネもんかればよう紋枯病やイネいもち病などの発病の増加が予測された事例があります。

(3) 果樹

うんしゅうみかんやりんごは、気候変動により栽培に有利な温度帯が年次を追うごとに北上するものと予測されています。この予測を踏まえれば、既存の主要産地が栽培適地ではなくなり、これらの品目の安定生産が困難となって需給バランスが崩れ、価格の高騰や適

正な価格での消費者への安定供給を確保できなくなることも懸念されます。

ただし、うんしゅうみかんについては、現在は栽培に不向きな地域である西南暖地（九州南部等の比較的温暖な地域）の内陸部、日本海及び南東北の沿岸部等で栽培が可能になることが予測されています。

りんごについては、生鮮果実の輸出額の約6割（平成 29 年）を占めており、気候変動の影響が輸出戦略面にも及ぶことが懸念されます。

ぶどう、もも、おうとう等については、既存の主要産地が栽培適地ではなくなる可能性のほか、高温による生育障害が発生することが想定されます。

(4) 土地利用型作物

小麦では、暖冬による茎立や出穂の早期化とその後の春先の低温や晩霜による凍霜害リスクの増加、高温のため登熟期間が短縮されることによる減収・品質低下等が予測されています。

大豆では、最適気温以上の範囲では、乾物重、子実重、収穫指数の減少が予測されています。

北海道では、2030 年代には、てん菜、大豆、小豆で増収の可能性もありますが、病害虫発生、品質低下も懸念され、小麦等では減収、品質低下が予測されています。

トウモロコシについては、関東地域を対象に予測した研究において、気温上昇により二期作に適した土地が将来広がることが示されています。

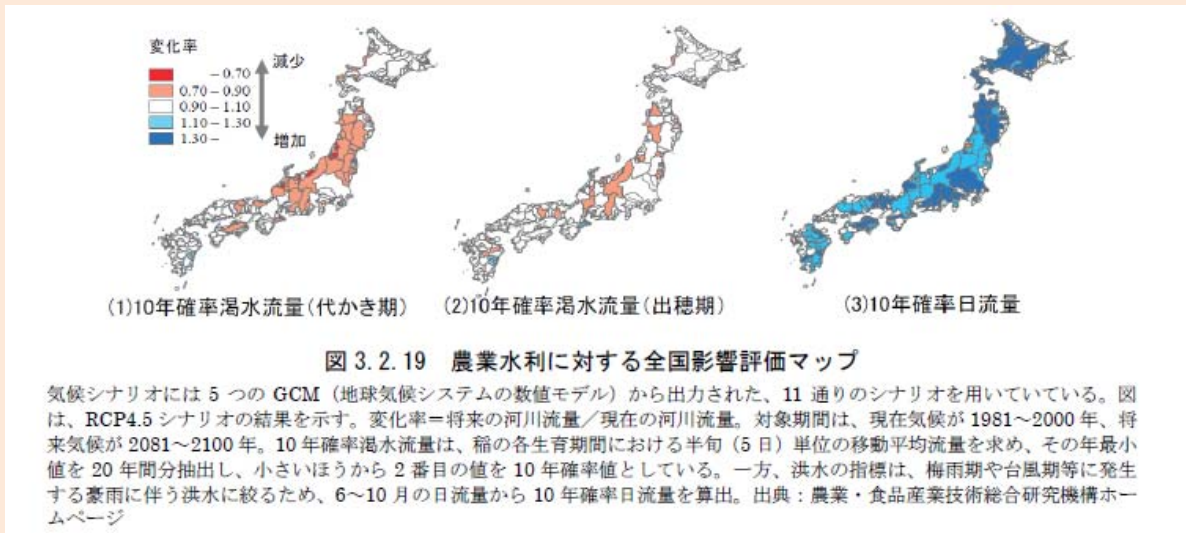
(5) 園芸作物

今後、野菜・花きについては、栽培時期の調整や品種選択を適正に行うことで、影響を回避できる可能性があるものの、さらなる気候変動が、野菜の計画的な生産・出荷を困難にする可能性があります。

（出典：「農林水産省気候変動適応計画」平成 30 年 11 月改定 農林水産省）

(参考4) 日本国内における農業水利用に対する気候変動の影響

地域の自然条件、農業水利用の多様性を考慮し、全国を対象に農業水利用に対する気候変動の影響を評価した研究によれば、代かき期の北日本(東北、北陸地域)で利用可能な水量の減少が予測されている。また、梅雨期や台風期にあたる6～10月では、全国的に洪水リスクが増加することが予測されている。



(出典:「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018
～日本の気候変動とその影響～」

2018 年 2 月 環境省 文部科学省 農林水産省 国土交通省 気象庁)

(参考5) 地球温暖化が水稻に及ぼす影響予測事例

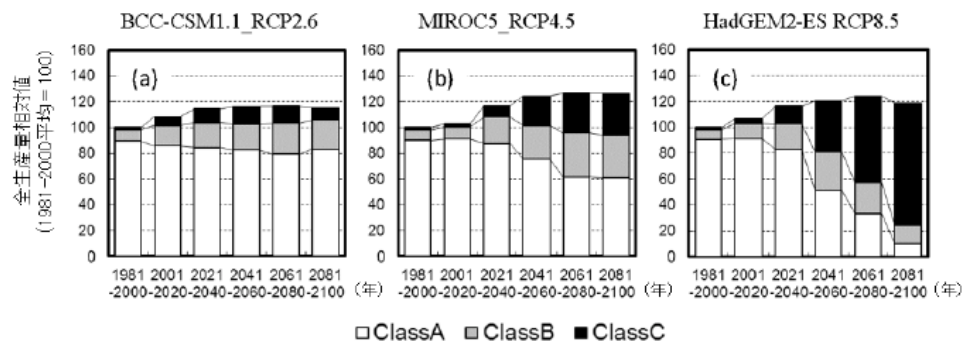


図 3.2.2 3つの気候シナリオによる全国平均コメ収量と登熟期の高温リスクにより区分された収量割合の変化予測

棒グラフは収量、ClassA-Cは品質に関して高温リスクを受けやすいコメの割合を表す。ClassA-Cは、出穂後20日間について、日平均気温が26℃を超過した値を積算した暑熱指数（積算気温、℃・日）により区分されたカテゴリーで、それぞれA（20℃・日以下）、B（同20～40℃・日）及びC（同40℃・日以上）である。ClassCになるほどリスクが高い。出典：Y. Ishigooka et al. (2017)

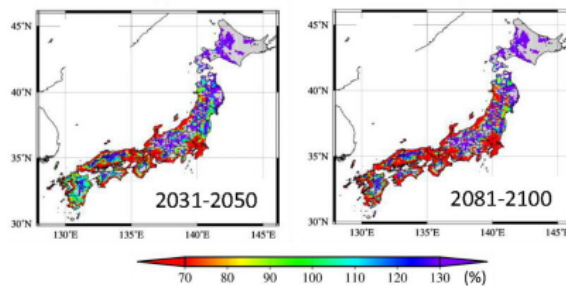


図 3.2.3 登熟期の高温リスクが小さいコメ (Class A) の収量の変化率分布 (適応策をとらない場合の20年平均)

全球気候モデル MIROC5 で比較的中庸な RCP4.5 シナリオを使用し、1981～2000 年におけるコメ全収量の平均値を 100 とした場合の、当該期間における Class A のコメ収量の平均値の相対値。出典：Y. Ishigooka et al. (2017)

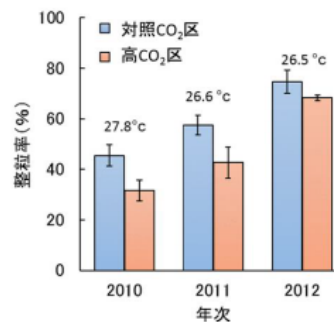


図 3.2.4 3か年のFACE実験におけるコシヒカリの整粒率

赤は高二酸化炭素炭素区、青は対照区、図中の温度は出穂後20日間の平均気温を示す。整粒率は高温であった2010年の方が、比較的低温であった2011、2012年に比べて低いこと、いずれの年次も高二酸化炭素炭素区で低いことがわかった。出典：Y. Usui et al. (2016) を改変（論文の概要は国立研究開発法人農業環境技術研究所(2016)の平成27年度研究成果情報で紹介）

- 【図 3.2.2】多数の気候モデルと温室効果ガス排出シナリオを用いて、コメ収量を予測した研究によれば、全国的に 2061～2080 年頃までは全体として増加傾向にあるものの、21 世紀末までには減少に転じるほか、品質に関して高温リスクを受けやすいコメの割合が、特に温室効果ガス排出が多い RCP8.5 シナリオで著しく増加することが予測されている。
- 【図 3.2.3】高温リスクを受けにくい(相対的に品質が高い)コメの収量の変化を地域別に見た場合、近未来期間(2031～2050 年)及び 21 世紀末には、北日本や中部以西の中山間地等、その収量の増加する地域と、関東・北陸以西の平野部等、収量が減少する地域の偏りが大きくなる可能性が示されている。
- 【図 3.2.4】大気二酸化炭素濃度を高めた屋外水田でイネを栽培する実験(FACE 実験)では、コメの品質の重要な指標である整粒率(未熟米、割米等を除いた、整った米粒の割合)が、高温・高二酸化炭素濃度によって低下するとの結果が得られている。

(出典：「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018
～日本の気候変動とその影響～」

2018 年 2 月 環境省 文部科学省 農林水産省 国土交通省 気象庁)

1-2-3. 気候変動が農業生産分野に与える影響

平均気温の上昇、渇水頻度の増加や集中豪雨の頻発などの降水形態の変化、大型化する台風や海水温の上昇に伴う平均海面水位の上昇などの気候変動と、それに伴う農業生産分野に与える影響との関係を整理したものが図 1-2-1 です。

また、農業生産分野における個々の影響を表 1-2-1 に示します。

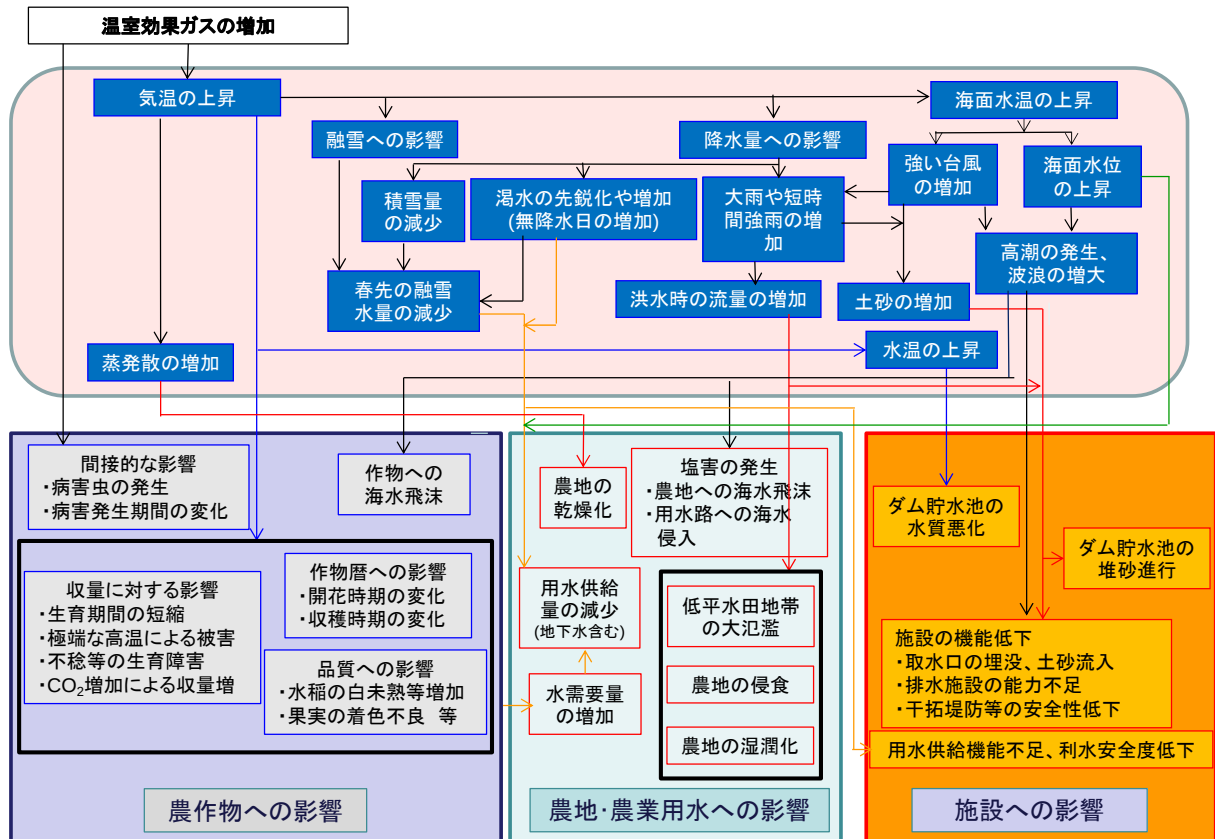


図 1-2-1 気候変動の農業への影響関連図

表 1-2-1 気候変動による農業生産基盤分野への影響

現象	対象	予測される主な影響
平均気温の上昇	作物	※農業生産基盤分野における技術等での適応が考えられるもの ・高温による作物への直接影響 * 水稻の白未熟粒、胴割れ粒等の発生、品質低下 * 大豆の落花、落莢、青立ち；トマトの収量、品質の低下；白ねぎの生育不良 ・過乾燥による大豆の生育不良 ・高温小雨による茶の生育不良
	農地・農業用水	・融雪時期が早期化し、春期における融雪流出の利用可能量が減少 ・水稻への影響（高温障害）を農家が回避する結果、水田かんがい必要水量が増大 * かんがい期の移動（品種変更、遅植えの増加等）、かんがい期間の長期化（直播栽培の増加） * 栽培管理用水量の増加（掛流しかんがいの増加等） ・畑作物・果樹への影響（乾燥等）を農家が回避する結果、畑かん必要水量が増大 * かんがいによる土壌水分補給、細霧冷房、散水氷結法等の導入 ・蒸発散量の増加に伴う農地の乾燥化
	農業水利施設	・貯水池（ダム、ため池等）の水温上昇による水質悪化
降雨形態の変化（極端現象の増加）	農地・農業用水	・冬期から春期の降水量の減少により、春先からのかんがい用水の不足 * 水源水量・河川流量が減少し、利用可能水量が減少 ・かんがい期の降水量の減少、用水の不足 * 有効雨量が減少し、必要水量が増加 ・無降水日数の増加により、地下水涵養量が減少し、地下水かんがい地域における用水の不足
	農業水利施設	・無降雨日数の増加、蒸発量の増加等による利用可能量の減少と、かんがい必要水量の増加に伴い、既存の農業水利施設の用水供給機能の不足 ・同一水系、近隣のダム群において、降雨形態の変化による流出形態・貯水効率への影響による、ダム利水安全度の低下（貯水しにくいダムの発生）
	大雨や短時間強雨の増加	・降水量の増大により、農地土壌が湿潤化 ・降雨強度の増加により、農地土壌の侵食量が増加 ・降水量の増大により、低平水田地帯が大氾濫 ・流域からの流出量の増加による、ダム（ため池含む）の洪水吐の能力不足 ・流域からの流出量の増加による、排水機場、排水路の排水能力の低下 ・河川流出の増加に伴う河床変動による、頭首工の安定性の低下 ・流域からの流出量の増加による、ダム湖（ため池含む）への土砂流出の増大
平均海面水位の上昇	農地・農業用水	・河口からの塩水遡上による、沿岸地域の取水施設における利用可能水量の減少 ・沿岸地域の地下水への塩水侵入や淡水レンズの縮小による地下水の取水可能量の減少 ・沿岸農地への塩類集積
	農業水利施設	・海面の上昇、台風による高潮発生による、干拓堤防等の海岸保全施設の機能と安全性の低下 ・海面の上昇、台風による高潮発生による、沿岸地域の排水機場、排水樋門の能力不足

第2章

農業生産基盤分野において 気候変動適応にも活用可能な技術等

2-1. 農業生産基盤分野における気候変動への対応と適応技術

農業生産基盤分野では、気候変動影響に対する様々な適応策が、既に取り組みられています。

これら適応策は、基盤整備本来の目的に沿った形で既往施設を有効活用しつつ、ハザードマップによるリスク評価等のソフト面の対策を組み合わせたものとなっています。

【解説】

農業生産基盤分野への気候変動影響に対し、農林水産省では将来予測される気温上昇、融雪流出量の減少、集中豪雨の増加等に対し、用水路のパイプライン化による用水量の節減、排水機場等の整備による湛水被害等の防止など、基盤整備本来の目的に沿った強化策に加え、ハザードマップ作成によるリスク評価等、ハード・ソフト対策を適切に組み合わせた取組が行われています（詳細は表 2-1-1 参照）。

なお、これに際し「既存施設の有効活用や地域コミュニティ機能の発揮等により効率的に対策を行う。」こととしています。気候変動の将来予測には不確実性を伴うことから、効率的で柔軟性のある対応が有効であるといえます。

表 2-1-1 気候変動による影響に対してすでに取り組みられている適応策

影響	適応策・取り組み	考え方
将来予測される気温の上昇、融雪流出量の減少等	用水管理の自動化や用水路のパイプライン化等による用水量の節減	ハード・ソフト対策を適切に組み合わせ、効率的な農業用水の確保・利活用等を推進
	ため池・農業用ダムの運用変更による既存水源の有効活用	
集中豪雨の増加等	排水機場や排水路等の整備により農地の湛水被害等の防止を推進	ハード・ソフト対策を適切に組み合わせ、農村地域の防災・減災機能の維持・向上
	湛水に対する脆弱性が高い施設や地域の把握	
	ハザードマップ策定などのリスク評価の実施	
	施設管理者による業務継続計画の策定の推進	

（出典：「農林水産省気候変動適応計画」平成30年11月改定 農林水産省）

2-2. 気候変動適応にも活用可能な技術とその考え方

本手引きは、農業農村整備事業の既往技術の中で、本来の目的が気候変動適応ではないものの、視点を変えることによって農作物の品質低下抑制等の気候変動適応に対する効果が期待できる4つの技術を対象に、活用方法などを解説しています（技術ごとの具体的な解説は第3章に記載）。

- ①ICT^注を用いたほ場配水／用水管理システムの活用
- ②地下かんがいシステムの活用
- ③パイプライン等の活用
- ④ダム貯水池等の選択取水設備の活用

【解説】

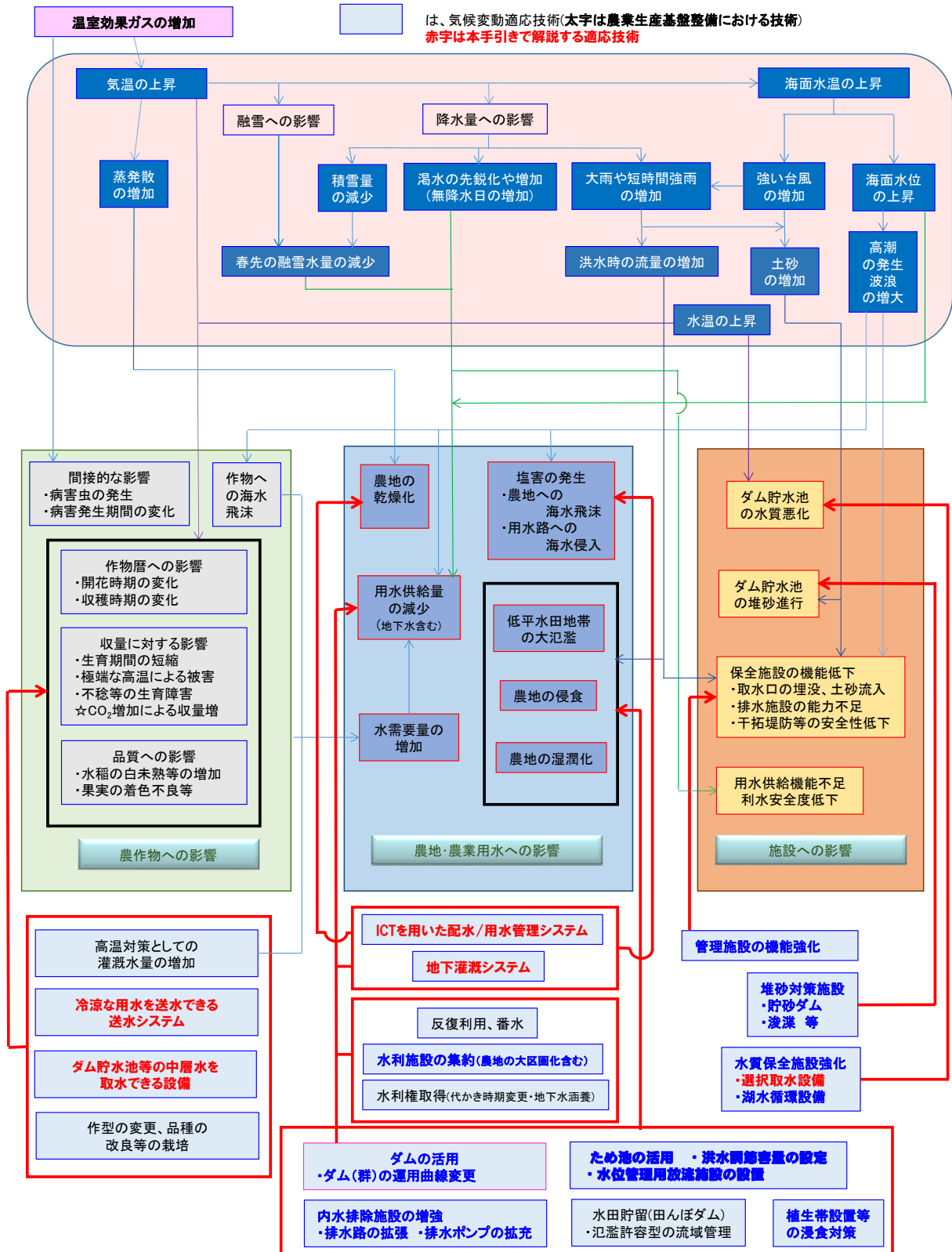
農業農村整備事業で用いられている技術の中には、気候変動適応を本来の目的とはしていないものの、視点を変えることで気候変動影響への対策効果が期待できるものがあります。本手引きでは、農業生産基盤分野ですでに利用されている、又は実用段階にあり、気候変動適応への活用が可能な4つの技術について、既往の論文・研究等の知見に基づき、具体的な活用方法、期待される効果、適用条件等を解説します（表 2-2-1 参照）。

図 2-2-1 には、気候変動が農業生産に与える影響への適応策として、すでに活用されている技術に加え、上記の技術論文等の知見より適応策として活用可能と考えられる技術を抽出・整理して示しました。

表 2-2-1 抽出した適応技術

適応技術	技術の概要（本来の用途）	対象とする気候変動
①ICTを用いたほ場配水／用水管理システムの活用	生産者のきめ細かな水管理を支援し、用水のロスを軽減する配水/用水管理システム	○平均気温の上昇 ○渇水の増加や長期化
②地下かんがいシステムの活用	暗渠排水管を利用して地中でかんがいすることにより、表土からの蒸発を抑制し、効率的に用水供給	○大雨や短時間強雨の増加 ○平均気温の上昇 ○渇水の増加や長期化 ○海面水位の上昇(限定的)
③パイプライン等の活用	用水のロスを軽減する配水/用水システム	○平均気温の上昇
④ダム貯水池等の選択取水設備の活用	水温や濁度の鉛直分布に応じた、任意の水深の水を取水	○平均気温の上昇

注) Information and Communication Technology（情報通信技術）の略



※本来の目的が気候変動ではないものの、視点を変えることによって農作物の品質低下抑制等の気候変動適応に対する効果が期待できる技術を赤文字で示した。

図 2-2-1 気候変動の農業への影響と各種技術の活用の関係

第3章

農業生産基盤分野における 気候変動適応にも活用可能な技術の 仕組みと活用

本章の各技術の解説構成

本章では、気候変動適応にも活用可能な技術を解説するに当たり、当該技術の本来の機能と気候変動適応への活用内容を明確にするために、下表に示すように各解説を記載しています。

節	解説内容の概要
3-0-1 技術等の本来の機能の概要	気候変動適応にも活用可能な技術として抽出された技術の農業生産基盤分野における本来の機能に関する解説。
3-0-2 気候変動に対する適応技術としての活用	上記の機能を活用した場合に、軽減・防止することのできる農業生産基盤分野における気候変動による影響を解説。
3-0-3 具体的な活用と効果	文献等による実績あるいは類似する事例により、活用した場合の具体的な効果等を解説。
3-0-4 適応条件、留意事項・課題	具体的な活用に当たっての適応条件や課題点を解説。

○：節番号（1：ICTを用いたほ場配水/用水管理システムの活用

2：地下かんがいシステムの活用

3：パイプライン等の活用

4：ダム貯水池等の選択取水設備の活用）

3-1. ICT を用いたほ場配水／用水管理システムの活用

【当該技術の機能】

ICT(Information and Communication Technology:情報通信技術)を活用し、遠方から水管理状況をモニタリングし、それに基づいてかんがいや排水を遠隔かつ自動で制御するほ場配水・用水管理システムで、現在実用化に向けた研究・実証が進められています。

【上記機能を用いた気候変動適応への活用】

本システムの活用により、用水供給量を必要最小限に抑えることができ、渇水の増加による用水不足の影響を回避、軽減できる可能性があります。

また、飽水・保水管理、夜間・早朝かんがい等、水稻の高温障害への適応技術として効果が確認されている用水管理の自動化が可能となります。

【解説】

3-1-1. 技術等の本来的機能の概要

(1)農林水産省における ICT 活用への取り組み

農林水産省は、平成29年4月に農業農村整備に関する技術開発計画を策定し、土地改良長期計画(平成28年8月24日閣議決定)で定められた政策課題の一つである「豊かで競争力ある農業」への対応として、生産コストの一層の削減に資するICTを活用した省力・省エネルギー型の農業水利施設整備及び営農・用排水管理技術等に関する技術の開発を促進することとしています。

また、ICTの発展に伴い、IoT、ビッグデータ、ロボット、人工知能(AI)等に関する新たな科学技術の進展が社会の課題解決と経済成長に大きな役割を果たすことが期待される中で、農業農村整備分野においてもICTを最大限に活用して技術開発を推進していく必要があります。

こうした観点から、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム、プロジェクト研究等を活用する等、技術開発を効果的に推進していくこととしています。

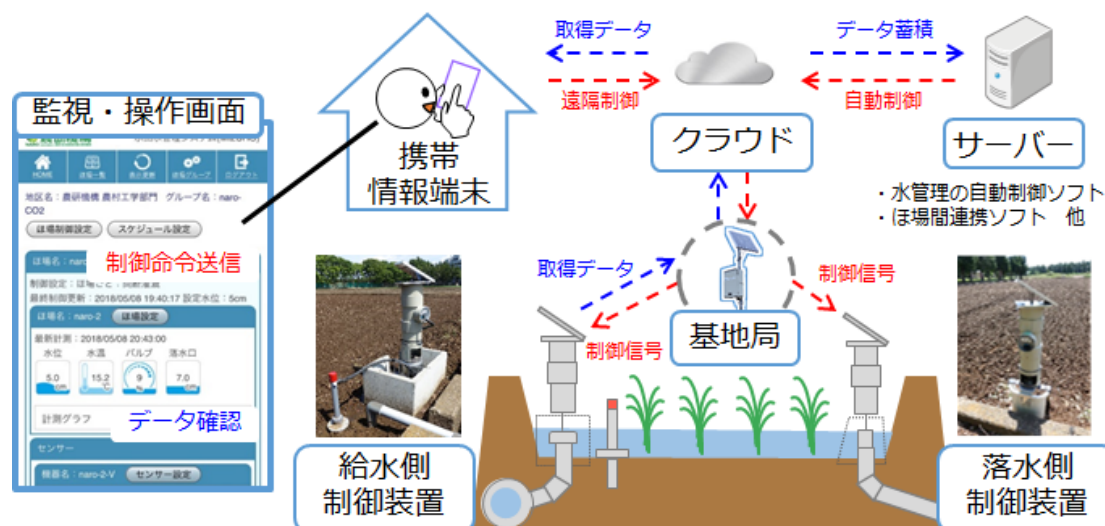
(2)ICT を用いたほ場配水／用水管理システムの開発

システムの一例として、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラムを活用し、農研機構農村工学研究部門が開発したICTを用いたほ場配水／用水管理システム(以下、本システムという)の概要を以下に紹介します。

①ICT を活用し、遠隔で水管理状況をモニタリングし、それに基づいてかんがい・排水を遠隔かつ自動で制御するシステム。

- ②自動給水バルブ、自動落水口はソーラー電源と無線通信を備え、基地局は水位データ等を一定の時間間隔で携帯通信のインターネット回線等を通じて送信。
- ③水管理にかかる労働時間の大幅な削減に貢献。

実証調査の結果、対照水田（一般的な給・排水装置を設置）に対して、労働時間を約 80% 削減（図 3-1-2 の A 参照）。



（出典：「水田の水管理を遠隔・自動制御化する圃場水管理システム（水田整備）」

平成 30 年度 実用新技術成果選集、農研機構 HP)

<http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/jituyo/all/index.html>

図 3-1-1 ICT を用いたほ場配水／用水管理システムの概要

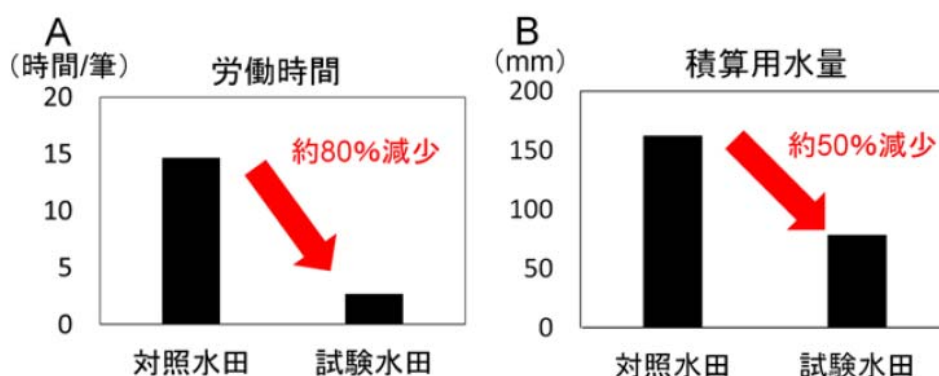


図 3 水管理にかかる労働時間と積算用水量の調査結果

調査は 2015 年、農研機構内の実証水田（各 20a 区画）において、A は労働時間（田植～収穫まで）、B は積算用水量 (mm)（出穂期～収穫まで）を示しています。

※積算用水量：日々の使用した用水量(m^3)を積算し、水田面積(m^2)で割ることで、雨量と同じように用水量を高さ(mm)で表記したもの。

（出典：「田んぼの水管理を ICT で遠隔操作・自動制御」2017 年 8 月 22 日、農研機構 HP)

図 3-1-2 水管理にかかる調査結果

3-1-2. 気候変動に対する適応技術としての活用

本システムは、水管理の自動化により、人手による水管理に比較して、用水の損失を低減し、効率的な用水供給により総量を減らすことが期待できます。

このため、平均気温の上昇や渇水の増加による用水供給量の低減、水需要の増加に対して、活用が可能です。

また、水稻の高温障害の低減に対して効果が確認されている夜間かんがいや飽水・保水管理といった「きめ細かな水管理」を自動で行うことが可能となります。

3-1-3. 具体的な活用と効果

本システムは、現在導入を進めるための実証検証中であるため、期待される活用効果については、実証ほ場等における類似事例により説明します。

(1) 気温の上昇、渇水の増加に伴う用水不足への適応

気候変動による渇水の増加により、用水不足が生じる頻度が増加したり、気温の上昇による高温障害対策として、必要となる用水量が増加したりすることが想定されます。

このような影響に対して、本システムの利用により、用水不足を回避、低減することが期待されます。

渇水時の用水が不足する状況においては、一定水位管理を自動で行うことで配水管理を最適化し、用水量のロスを削減することが可能となります。用水量は立地条件等により変動しますが、研究機関の実証水田において、出穂期から収穫までの期間の積算用水量※を調査した結果、ICTで水管理を行った水田は、従来の手法で水管理を行った対照水田の約50%に削減できました(図 3-1-2 の B 参照)。

また、渇水時でなくても気温の上昇に伴う高温障害対策として、作物への散水等に使用する用水量が増加することも考えられます。ICTによる水管理を行うことで用水量のロスを削減することにより、高温障害対策として用水を有効に活用できる可能性があります。

(2) 気温の上昇に伴う水稻の高温障害等への適応

気候変動による気温の上昇に伴い、水稻では白未熟粒の増加といった品質の低下や作物の生育不良などの高温障害が生じることが懸念されます。このような高温障害への適応として、水稻栽培における飽水管理や夜間・早朝かんがいの効果が報告されています。

① 飽水管理等への活用

飽水管理は、土が常に湿った状態を保つ水管理であり、常時湛水させずに用水を節約しながら水稻の栽培を行う水管理方法です(図 3-1-3 参照)。飽水管理で栽培された水田(コシヒカリ)においては、湛水区よりも乳白粒、基部未熟粒といった被害粒の発生が小さくなったと報告されています(図 3-1-4 参照)。

本システムを活用すれば、土壌水分のモニター等により、ほ場の飽水・保水管理を自動で行える可能性があります。

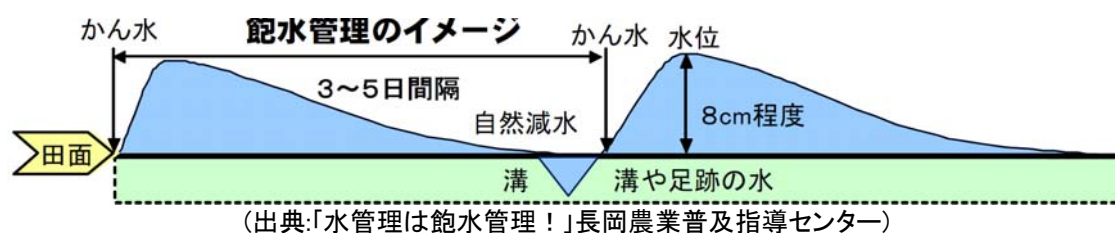
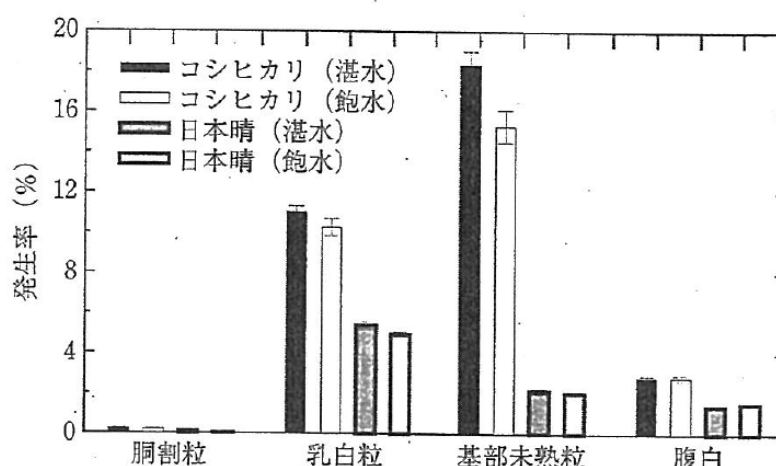


図 3-1-3 飽水管理のイメージ



（出典：藤原ら(2013)：夏期の飽水管理が土壌環境と玄米品質に及ぼす影響、農業農村工学会誌、No.81(4)）

図 3-1-4 湛水区と飽水区の玄米品質の比較

②水管理方法への活用

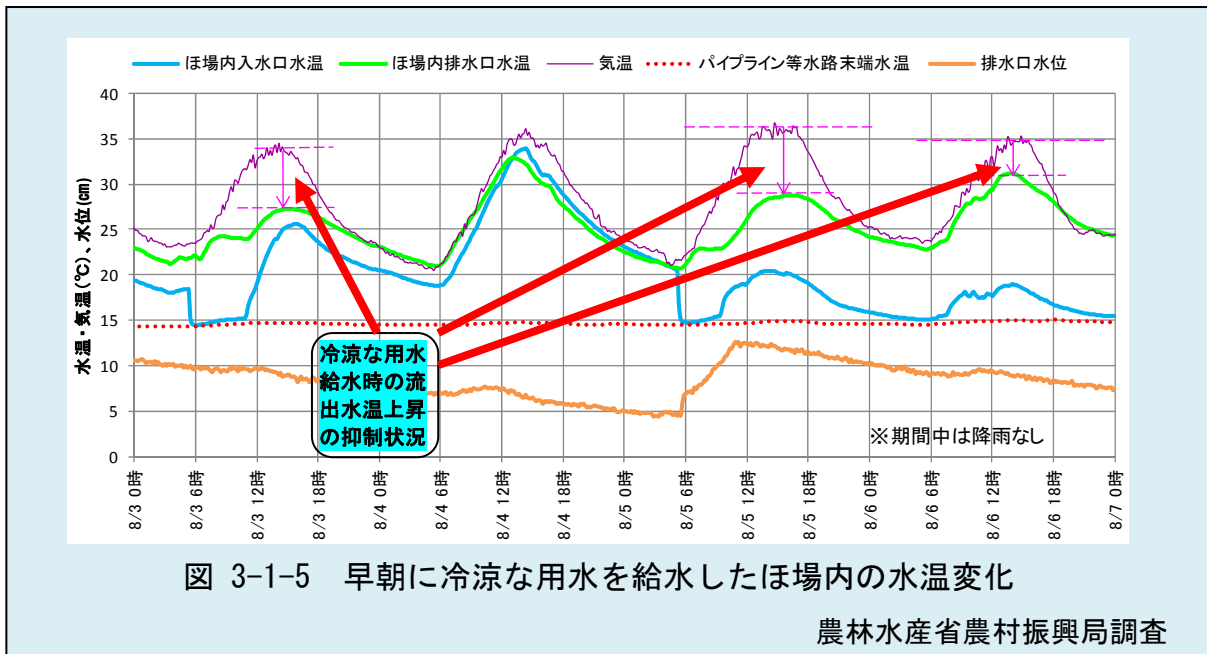
夜間・早朝かんがいは、気温の低下する夜間・早朝にほ場に用水供給し、高温による稲の品質低下を抑制することを期待する水管理方法です。夜間かんがいをを行ったほ場と夜間かんがいを未実施のほ場において、収量及び品質を比較したところ、夜間かんがいをを行ったほ場は、夜間かんがいを未実施のほ場より、全重、もみ重、精玄米重が多く、乳白米、白未熟粒及び被害米の発生比率が低くなったとの結果が報告されています¹⁾（表 3-1-1 参照）。

表 3-1-1 夜間かんがいの実施有無による品質の発生比率

夜間かんがい	圃場	乳白	背白	死米	腹白	白未熟	被害米
実施	1	1.2	0.0	5.0	1.0	1.2	1.2
	2	1.5	2.0	2.6	1.7	1.5	1.2
未実施	3	4.2	0.0	4.0	1.9	4.2	2.6

（出典：竹下ら(2013)：「山田錦」における高温障害抑制のための掛流し灌漑試験、農業農村工学会誌、No.81(4)）を参考に作成

また、早朝に給水を行った日と、給水を行わなかった日の水田の水温（流入口、排水口）の変化を測定した結果、早朝に冷涼な用水を給水した日は、日中のほ場内の水温上昇が抑制されていることが確認されました（図 3-1-5）。



こうした夜間・早朝の給水を、人力で行うには困難を伴うことも少なくないと思われますが、当技術によって水管理を自動で行うことにより、水稻の高温障害を省力的に回避、軽減することが可能となります。

③自動散水への活用

畑作については、高温対策としてトマトにおける細霧冷房の導入²⁾、白ねぎにおける高温期のかん水、イチゴにおける施設内散水³⁾などの取組が報告されています。気温センサと散水装置を組み合わせることで、これらの散水等を自動で行うことができます。

④栽培管理への活用

気温センサのデータを蓄積し、水稻の生育予測に利用し、高温障害が予測される場合に適切な栽培管理を行えるようにする研究が進められています⁴⁾。

1) 竹下伸一ら(2013):「山田錦」における高温障害抑制のための掛流し灌漑試験、農業農村工学会誌、No.81(4))

2) 農林水産省:平成 29 年地球温暖化影響調査レポート、平成 30 年 10 月

3) 農林水産省:平成 26 年地球温暖化影響調査レポート、平成 27 年 8 月

4) 千葉県: 気象情報及び作物生育モデルを利用した水稻高温障害を軽減する栽培管理技術の開発、水田センサ×技術普及組織による農業 ICT 導入実証プロジェクト(平成 28 年)

3-1-4. 適応条件、留意事項・課題

①用水供給区域における様々利用形態への対応

自動給水バルブ、自動落水口、水田センサ(水位・水温計)、圧力タンク内水位センサなど、普及可能な装置・設備が商品開発されており、水田ほ場、畑地など様々な場面で使用できるシステムの開発が急速に進んでいます。

農林水産省では、「スマート農業技術カタログ(平成 30 年 10 月更新)」を作成し、スマート農業技術の農業現場での活用を進めています(下記サイト参照)。

http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/smart_agri_technology/smartagri_catalog.html

②水管理方法の設定

夜間・早朝かんがいとした場合は日中の水使用量にも影響し、地域内での配水計画を見直す必要が生じる可能性があります。また、日取水量や取水時間が制限されている場合等は、夜間・早朝に取水できない可能性もあります。さらに、気温、水位、土壤水分等による自動給水とした場合は、需要が集中する可能性もあり、用水不足が生じることも懸念されます。

このため、各地域の水利使用規則を踏まえつつ、管理者等の知見・経験や取組・実践例に基づき、ICT を用いたほ場配水／用水管理システムに対応した水管理設定を行うことが必要となります。

③システム管理技術の習得

利用者にとっては、作業自体は自動化・省力化されますが、一方で、ICTを用いたほ場配水／用水管理システムは、集積した気象、水位等のデータを分析、活用して、収量、品質の向上・安定化につなげていくことが期待されています。このようなシステムの活用、発展について、システムの開発に関わった農研機構やメーカーによる講習等を受け、技術習得を行うことが望まれます。

(参考資料: 農林水産省「農業分野における IT 利活用ガイドブック(Ver1.0)」)

<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/it/attach/pdf/itkanren-7.pdf>

④システム活用上の留意事項

園芸作物等を対象に、散水を行う場合には、かん水により土壌が過湿とならないように注意する必要があります。この対策として、土壌水分計を併用して、散水停止機能を組み込むことが考えられます。また、施設内でのかん水は、湿度が高くなりやすくなることから、夜間や曇雨天の日中には、通風するなどして湿度を下げることに注意する必要があります⁵⁾。

5) 農林水産省: 平成 29 年地球温暖化影響調査レポート、平成 30 年 10 月、p60

3-2. 地下かんがいシステムの活用

【当該技術の機能】

地下かんがいシステムは、従来は排水にしか用いられなかった暗渠管をかんがいにも利用することで、湿害と干ばつ害を回避し、安定的な作物栽培が可能となるシステムです。

【上記機能を用いた気候変動適応への活用】

- ・大雨や短時間強雨の増加への適応：システム導入時に弾丸暗渠を施工することで排水性が向上し、大雨や短時間強雨の増加に対して、湿害発生を軽減できる可能性があります。
- ・水稻の高温障害への適応：根圏の温度を下げることで、水稻の生育促進が期待でき、高温障害を軽減できる可能性があります。
- ・渇水の増加に対する適応：もともと蒸発を抑えた節水型のシステムですが、ICTとの組み合わせでさらにきめ細かな水管理を行い、用水を有効に利用できる可能性があります。
- ・海面水位の上昇への適応：海面水位の上昇による塩害が懸念される地域では、地中かんがいにより、根圏の塩分を効率的に排除できる可能性があります。

【解説】

3-2-1. 技術等の本来の機能の概要

地下かんがいは、転作作物へのかんがいや大区画水田における水稻乾田直播種栽培の低コスト技術として着目されました。しかし、昔の地下かんがい技術は畑転作時の湿害対策を重点とした排水設計であり、任意の水位に地下水位を設定できないという課題がありました。

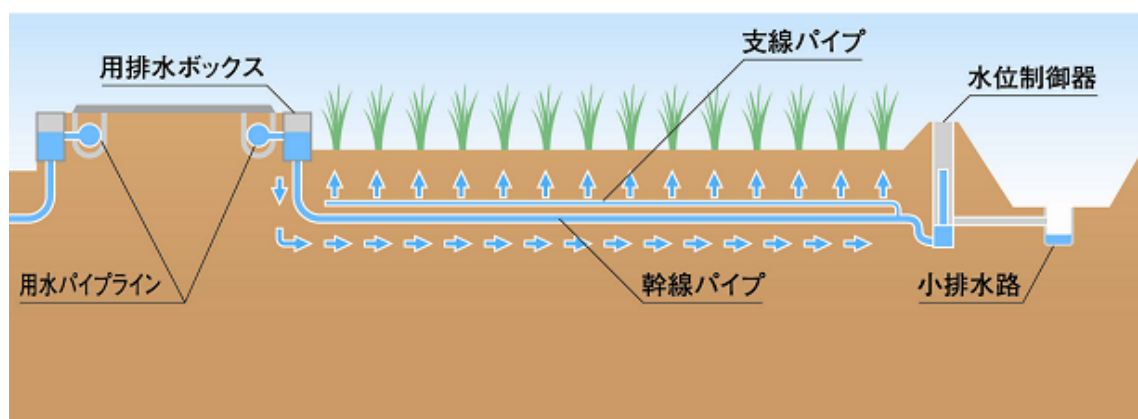
この課題を解決したシステムとして、ほ場に埋設した有孔管等への用水供給・田面配水機能を兼ね備えた用排水ボックスと、地下水位を調節する水位制御器を組み合わせた水田の水管理システム(地下水位制御システム)が開発されています。

このシステムの一つとして FOEAS(フォアス)があり、以下の特長があります。

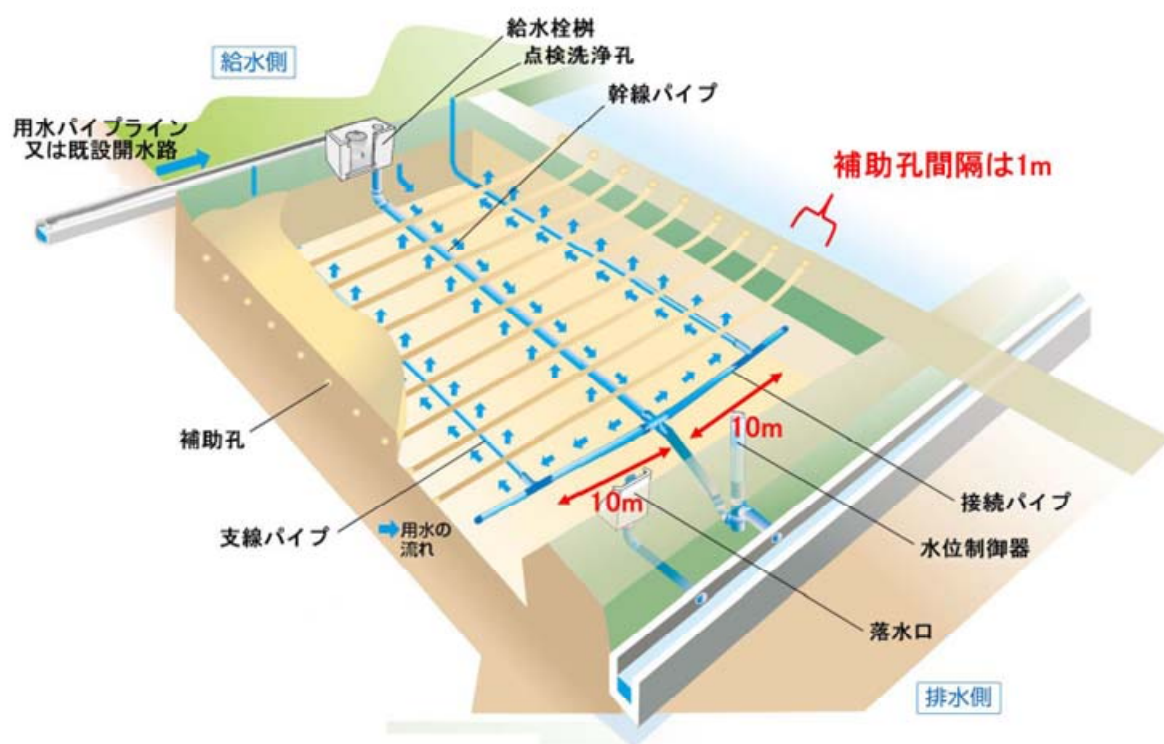
- ①ほ場全面の均一な地下水位維持が可能。
- ②管内の堆積物の除去が容易。
- ③従来のほ場の形状を変更する必要がない。

具体的には、給水側には水位管理者、排水側には地下水位の高さを $-30\sim+20\text{cm}$ の範囲に自由に設定できる水位制御器を備えています。したがって、水稻栽培においては田面から $+20\text{cm}$ まで湛水することができます。大豆や野菜を栽培する場合には地下水を作物の

生長に最も適した水位まで上げ下げすることができる点が大きな特徴です⁶⁾。



(出典: http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_kyogikai/18/pdf/data09.pdf)



(出典 : 農研機構 HP)

図 3-2-1 地下かんがいシステムの概要(FOEAS)

3-2-2. 気候変動に対する適応技術としての活用

地下かんがいシステムは、大雨等の増加に対しては、排水暗渠に補助孔(弾丸暗渠)が設置されることから、高い排水性を有し、農地湿潤化を低減します。

6)小泉健(2013): 地下水位制御システム(フォアス)の魅力と地球環境への貢献、Seneca 21st、平成 25 年 7 月 8 日

水稻の高温障害に対しては、パイプラインで供給された冷涼な用水を地下を通して供給できることから、水温を上昇させずに供給することが可能です。

渇水の増加に対しては、土壌へ直接かんがいすることから、蒸発により失われる用水量を減らせると考えられ、用水不足を軽減できる可能性があります。

海面水位の上昇による塩分濃度の増加に対しては、根圏に直接、淡水を供給することで塩害を回避できる可能性があります。

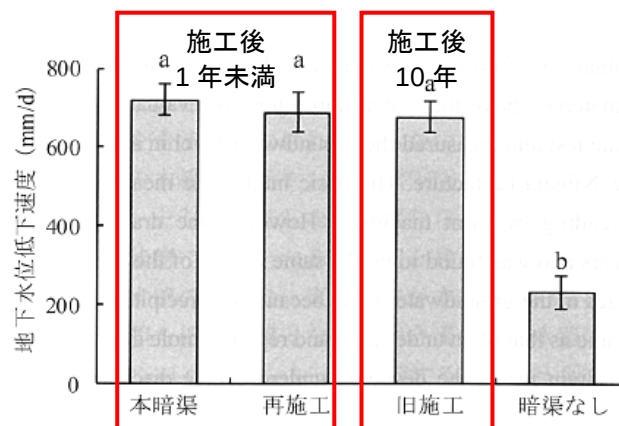
3-2-3. 具体的な活用と効果

(1)大雨や短時間強雨の増加に伴う農地湿潤化への適応

地下かんがいシステムは排水不良で転作が困難な地域や転作での野菜栽培には効果が顕著です⁶⁾。

地下かんがいシステムとともに設置された弾丸暗渠は、施工から10年経過した状態でも、高い排水性を維持しているとの報告もあります(図 3-2-2 参照)。

このように、地下かんがいシステムを導入することで、大雨後の土壌の湿害の発生を回避できます。



注：棒グラフは平均値を示し、棒グラフ上端の縦線は標準誤差を示す。また、図中の異なる英文字は Tukey の多重検定により有意水準 1% で統計的な差があることを示す。

Fig. 5 観測地点ごとの地下水位低下速度

(出典：坂田賢ら(2017):重粘土転換畑における地下水位制御システム整備で施工された弾丸暗渠の排水性、農業農村工学会論文集(No.304(85-1))に加筆

図 3-2-2 地下かんがいシステム施工後の地下水位低下速度

(2)気温の上昇に伴う高温障害への適応

地下かんがいシステムは、パイプラインとの併用により水源から水田まで冷水を供給できれば温暖化によるコメの高温障害も防ぐことができる⁶⁾とされています。

地下かんがいシステムが導入された試験区の水田の土壌温度は、対照区の水田の土壌温度より出穂期及び台風通過時で1℃以上低くなっていました。(図 3-2-3 左)。土壌温度が低い試験区は対照区より水稻収量が多く、格付けは 1 等級高い結果が得られています(図 3-2-3 右)。以上より、地下かんがいは根圏における温度や土壌水分などの水稻生育環境を健全化させ、水田の周辺環境の恒常化や高温登熟対策として活用できると考えられます。

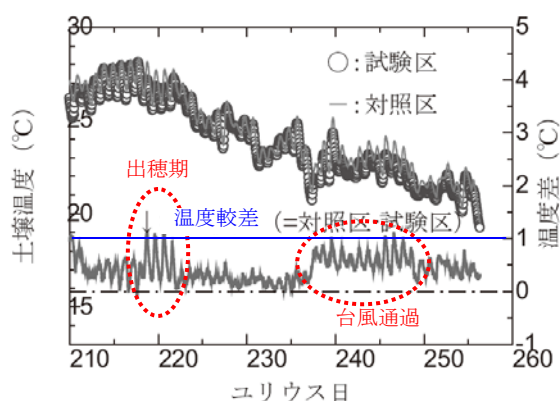


図-2 試験区と対照区における土壌温度と較差
(2015 年)

表 試験区(地下灌漑)、対照区(通常地表灌漑)の水稻収量と格付け(2015 年、籾水分14.8%)

圃場	収量 (Kg/10a)	格付け
試験区	488	2等
対照区	405	3等

※出典より作成

(出典：粟生田忠雄(2017):地下灌漑稲作の農村環境恒常化、日本環境学会第 43 回研究発表会)に加筆

図 3-2-3 地下かんがいシステム試験区と対照区における土壌温度と水稻収量、格付け

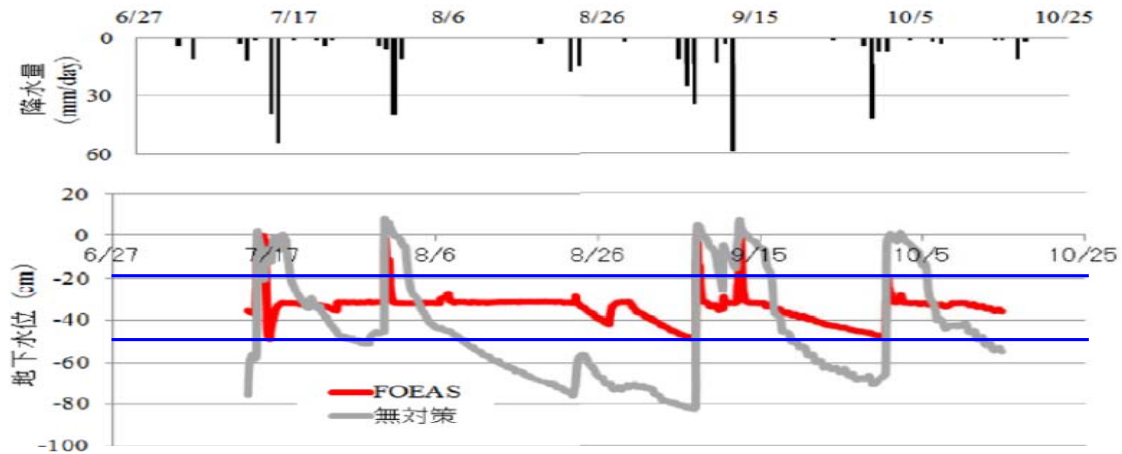
このように、地下かんがいシステムの導入により、パイプラインで供給された冷水をそのまま根圏に供給することで、土壌の温度を低下させ、水稻の高温障害の発生を低減できる可能性があります。

(3)気温の上昇に伴う乾燥化への適応

地下かんがいシステムの導入により、常に作物の好適水位を一定に維持でき、かつ、ほ場の水分を均一にできるため、過乾燥による生育不良を軽減できます⁵⁾。

地下水位制御システムを施工したほ場では、排水側に設置した水位制御器を田面下 20 cm 程度に設定することで、ほ場全体が均一な水分を維持することができ、従来の暗渠のような水分のバラツキが発生しません⁶⁾。

大豆を対象とし、地下水位を-30 cmと設定した FOEAS 施工ほ場における地下水位の調査事例をみると、図 3-2-4 に示すように大豆の干ばつ発生の危険が高まる-50 cm以下、あるいは湿害発生の危険が高まる-20 cm以上となる期間が、施工していないほ場よりも短くなっています。



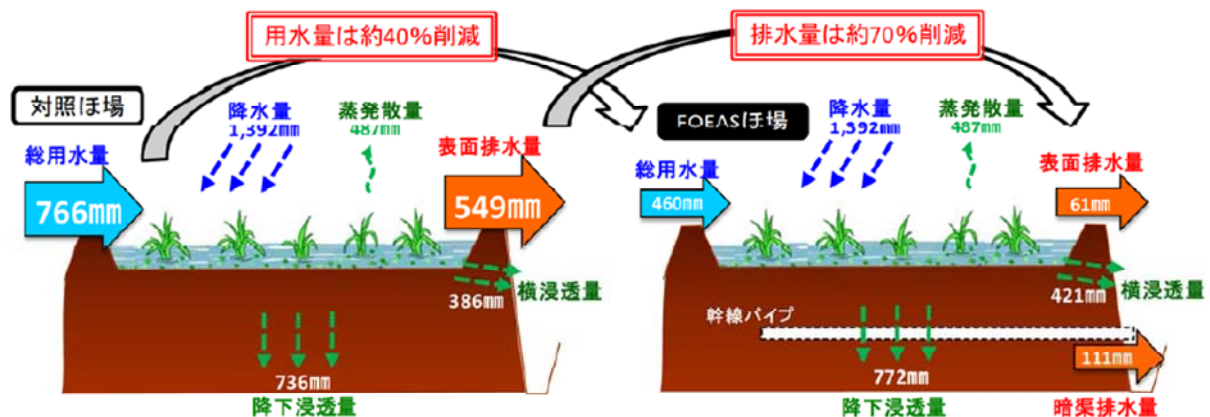
(出典：小泉健(2013):地下水水位制御システム(フォアス)の魅力と地球環境への貢献、Seneca 21st、H25.7.8)

図 3-2-4 地下水水位制御システムによる大豆栽培時の地下水水位

(4)気温の上昇、渇水の増加に伴う用水不足への適応

地下かんがいシステムの導入による用水量の削減効果の事例としては、下記に示すようなものがあります。

- ①減水深がほぼ等しい 30a の地下水水位制御システム施工ほ場と近接する一般的な水管理を行う 20a の対照ほ場において、用排水量を計測した結果、総用水量は地下水水位制御システムほ場が 460.0mm、対照ほ場が 765.7mm で、普通期に掛け流しが行われない地下水水位制御システムほ場は対照圃場よりも約 40%削減しました。総排水量は地下水水位制御システムほ場が 171.9mm(表面排水量 61.1mm、暗渠排水量 110.8mm)、対照ほ場が 548.9mm で、地下水水位制御システムほ場は対照ほ場よりも約 30%減少しました。



(出典：小泉健(2013):地下水水位制御システム(フォアス)の魅力と地球環境への貢献、Seneca 21st、H25.7.8)

図 3-2-5 水管理の適正効果

- ②不耕起 V 溝直播栽培は、春にピークを迎える代かき用水の需要を他の時期に幅広く分散することを可能にします⁷⁾。代かき用水の需要による春渇水への中長期的な適応策と

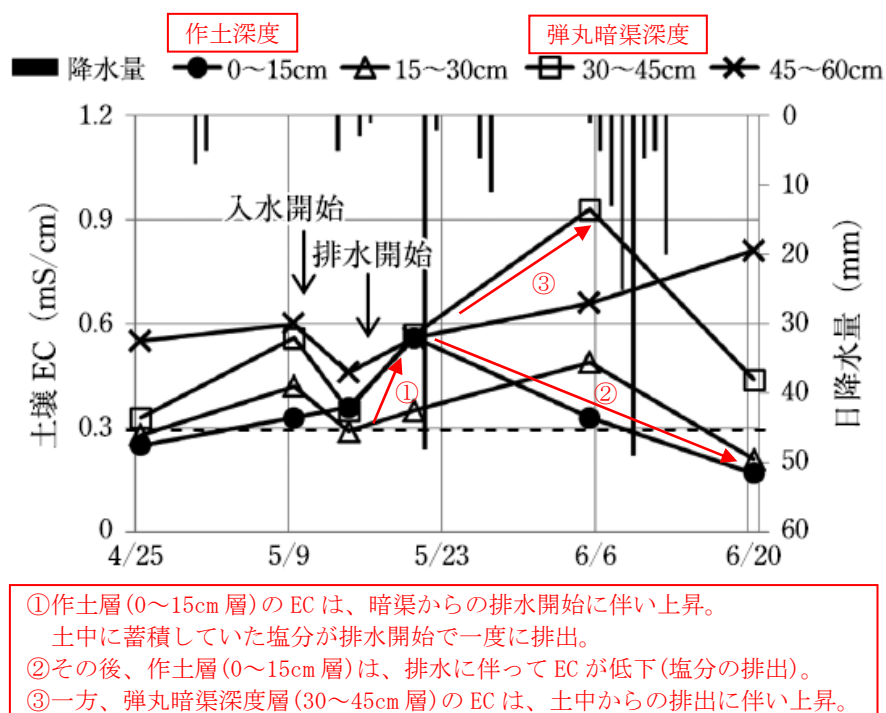
して有効な不耕起 V 溝直播栽培における初期灌水に対して、地下かんがいによってほ場全体に均一にかんがいできることが示されています⁸⁾。

このように、地下かんがいシステムの導入により、用水総量を削減したり、代かき期の用水量を削減したりすることが可能となります。この結果、気温の上昇に伴う用水需要量の増加や渇水による供給可能量の減少の影響を軽減できます。

(5) 海面水位上昇に伴う塩害への適応

地下かんがいシステムの導入による塩害の抑制効果の事例として津波に被災した水田における大豆栽培の事例を示します。

額縁明渠と弾丸暗渠を接続させた簡易な地下かんがいにより、田面－20cm 程度まで貯水したところ、下層塩分が排除されました。また、暗渠排水吸水管の給水側末端に立上り管を設けて、立上り管と水口を接続し、直接暗渠に入水させる暗渠直接入水を実施したところ、EC(電気伝導度)が低下し、塩素イオンが排出されました。



(出典：平直人(2015):津波被災水田における大豆塩害抑制技術、水土の知(Vol83、No.12))に加筆

図 3-2-6 地下かんがい前後の土壌 EC の変化

7)友正達美ら(2015):代かき用水需要の平準化による春渇水への適応の可能性、農業農村工学会誌第83巻第9号

8)坂田賢ら(2017):地下水位制御システムを利用した地下灌漑時における浸潤域・地下水位の経時変化と水収支、農業農村工学会論文集 No.304(85-1))

3-2-4. 適応条件、留意事項・課題

- ①高温障害への適応については、パイプラインなどにより冷涼な用水が供給されると効果が高いと考えられます。
- ②地下かんがいを円滑に行うための条件の一つとして、ほ場の透水性が適正であることが重要です。透水性が高すぎると、地下から供給した用水の大部分が降下浸透となり、透水性が低すぎると暗渠を経由した配水に支障をきたします。地下かんがいシステムが導入されているほ場の透水係数の値は 10^{-5} cm/s 以下です⁹⁾。
- ③不耕起V溝直播栽培は代かきの時期を冬期などにずらし、春期の水需要を他の時期に幅広く分散することを可能としますが、その場合、当該時期に水利権が確保されていること、確保されていない場合は新たに水利権を取得する必要があることに留意が必要です。

9) 原口暢朗、若杉晃介(2016):水田における暗渠管を利用した地下灌漑に及ぼす下層土の透水性の影響、農業農村工学会誌、84(3)、27-30

3-3. パイプライン等の活用

【当該技術の機能】

パイプラインは、既設管を埋設して造成する圧力管路によって農業用水を送配水する水路組織であり、開水路に比べて、上下流の取水の優劣が軽減できる、つぶれ地が少なく、済む、用水量が全体として節約できる、等の利点があります。

【上記機能を用いた気候変動適応への活用】

パイプラインのほか、トンネルや蓋がけの水路は、日射や気温の影響を受けにくいことから、取水した冷涼な用水を送水することで、気温上昇時の高温障害対策として活用できる可能性があります。

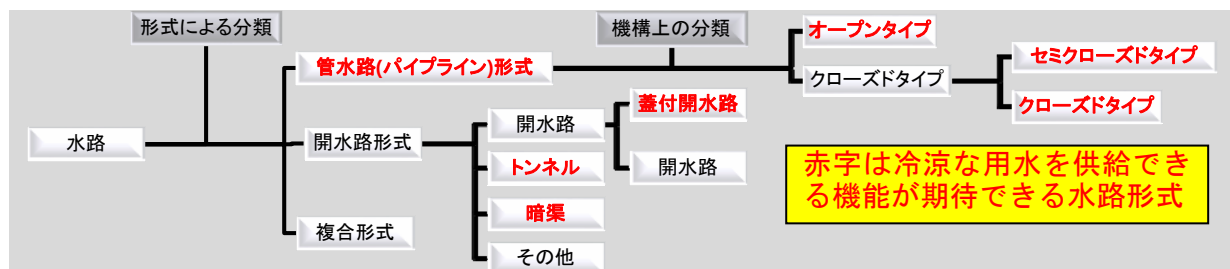
【解説】

3-3-1. 技術等の本来の機能の概要

(1) 農業用水路の種類

農業用水路の種類を、図 3-3-1 に示します。形式から分類すると、パイプライン形式、開水路形式、複合形式に分けられます。

冷涼な用水を送水できる水路は、水面が日射や気温の影響を受けにくい構造であることが条件であり、パイプライン形式のほか、開水路形式の蓋付開水路、トンネル、暗渠でも同様の機能が期待されます。



（「用排水路設計指針 北海道農政部 平成 27 年 7 月」より作成）

図 3-3-1 農業用水路の種類

(2) パイプラインの特徴

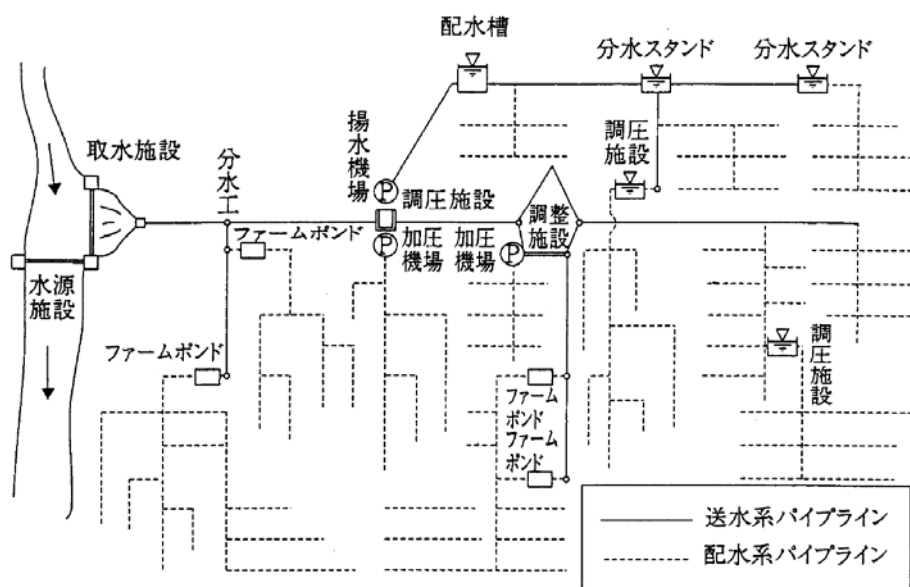
パイプラインは、水源から管路で送水を行うことから、①ポンプや水源と利用地点の高低差で水圧がかかっているため、任意に用水を利用することができること、②開水路に比べ複雑な地形での路線設定が可能になること、③適切な水利用方式を組み合わせることにより無効放流を少なくできる(用水量が全体として節約できる)ことが特徴です。また、地下埋設区間が多くなることから、④水路用地の節約、⑤農作業機械の運行が容易、⑥汚濁水の流入防止、などの利点があります¹⁰⁾。

(3)パイプラインの種類

パイプラインの配置からは、送水系パイプラインと配水系パイプラインに分類されます(図 3-3-2 参照)。

○送水系パイプライン:水源から幹線及び支線水路を通じ調整施設、調圧施設又は分水工まで送水

○配水系パイプライン:送水系パイプラインの調整施設、調圧施設、分水工もしくは水源からほ場内配管によって末端給水栓まで配水。



(出典:「設計基準「パイプライン」技術書」平成21年3月)

図 3-3-2 パイプラインの配置から見た分類



パイプライン 末端給水栓

図 3-3-3 パイプライン及び給水栓の例

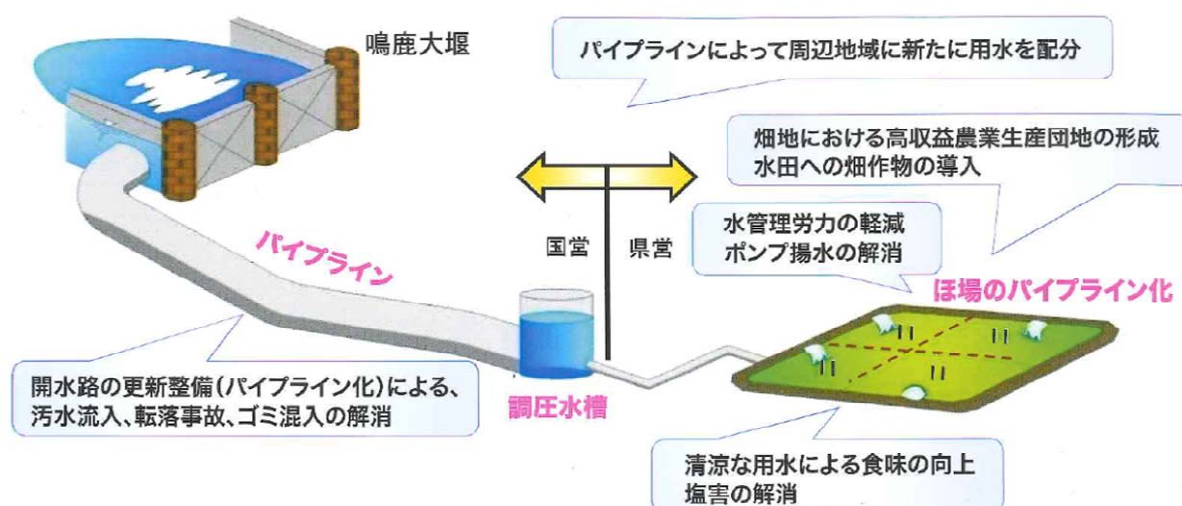


図 3-3-4 九頭竜川下流地区のパイプラインシステムとその効果

3-3-2. 気候変動に対する適応技術としての活用

パイプラインや蓋掛け開水路など、日光が直接水面に当たらない形式の水路(以下、「パイプライン等水路」という)では、送水過程における水温上昇を回避できることから、河川上流やダム貯水池の冷涼な用水を、冷涼なまま水路末端まで供給することが可能です(この機能を検証した調査事例を、図 3-3-5 に示します)。

このようなパイプライン等水路の冷涼用水供給機能に着目し、パイプライン等水路の用水供給先における高温障害防止対策としての活用を図るものです。

<パイプライン等水路が夏季に冷涼な用水を供給できる機能の検証>

○開水路は、水源からの送水距離に応じて水温が上昇し、水源との水温差が拡大する傾向であるのに対し、パイプライン等水路は送水距離にかかわらず水源と水路末端の水温が同程度である。

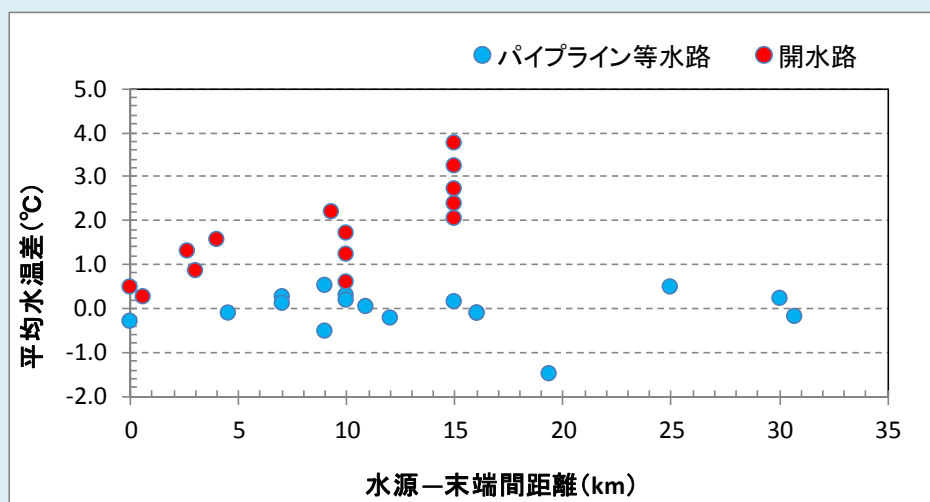


図 3-3-5 送水距離と平均水温差

農林水産省農村振興局調査

3-3-3. 具体的な活用と効果

(1) 気温の上昇に伴う水稻の高温障害への適応

夏季の高温傾向によって、白未熟粒の増加など水稻の高温障害が増加しています。これに対して、農研機構農村工学研究部門の調査では、農業農村整備事業により用水路をパイプライン化することで、以下の効果が確認されています(参考6参照)。

- ①河川取水口から遠く離れた地点でも、パイプラインを流れる用水の温度はほとんど上昇しない。
- ②末端ほ場までパイプライン整備が完了した集落で収穫された米は、気温の影響を受けず、未完成の集落に比べて、1等米比率が高い傾向。

この結果を踏まえ、パイプライン等水路で送水されている地区と開水路で送水されている地区の水稻の品質について広域的に調査を行ったところ、整粒比率及び白未熟粒率は、パイプライン等水路で供給されている地区の方が良好であるという結果が得られました(表 3-3-1 及び図 3-3-6 参照)。

表 3-3-1 送水システムの違いによる水稻の品質及び水温の比較

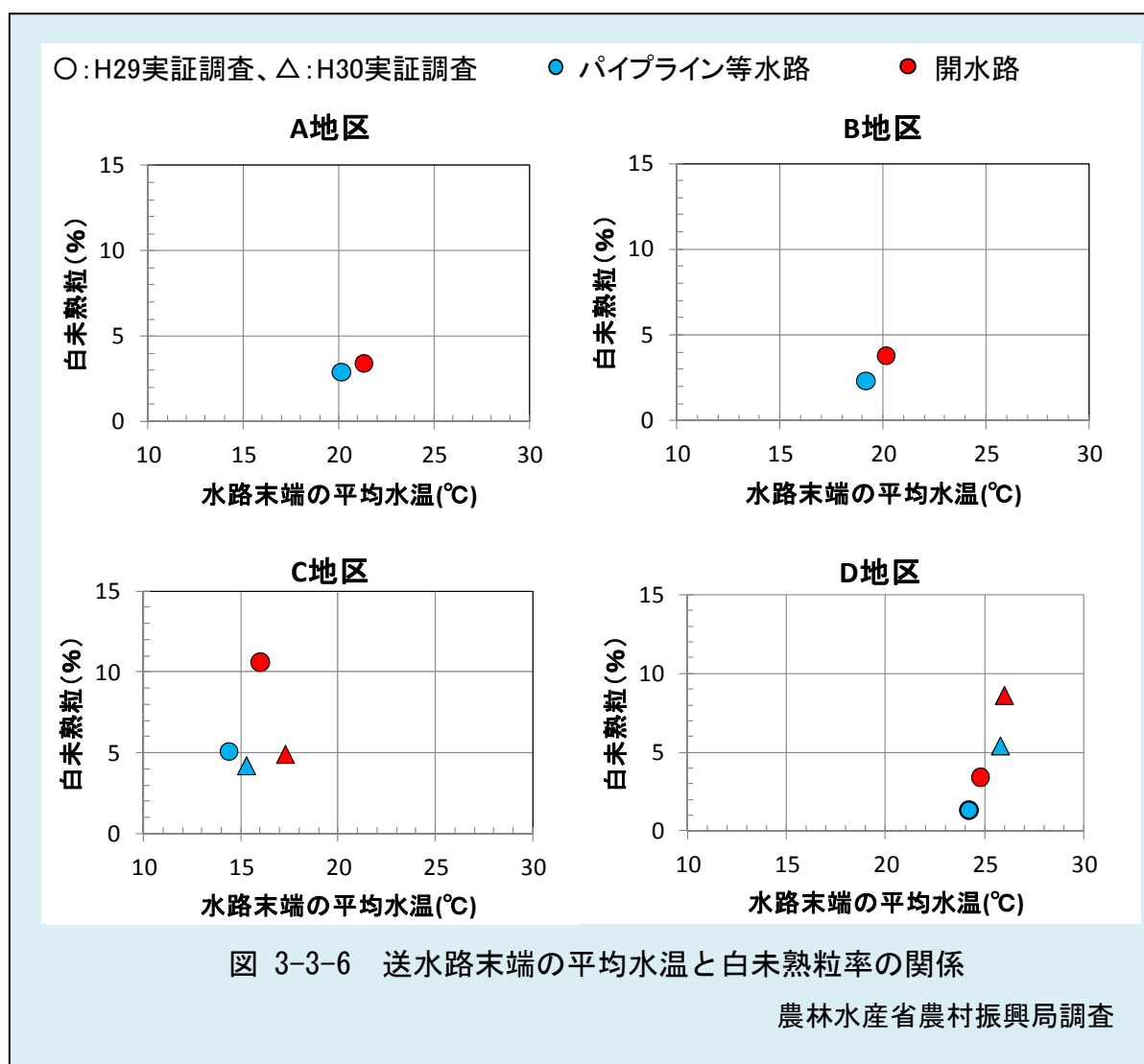
- ・ 実証区：パイプライン等水路で送水されている地区
- ・ 対照区：開水路で送水されている地区
- ・ △は実証区>対照区、▽は実証区<対照区であり、数値は差分を示す。

地区	調査年度	区分	末端平均水温 (℃)	整粒比率 (%)	白未熟粒率 (%)
A	平成29年度	実証区	20.1(▽1.2)	83.9(△1.8)	2.9(▽0.5)
		対照区	21.3	82.1	3.4
B	平成29年度	実証区	19.2(▽1.0)	88.3(△1.2)	2.3(▽1.5)
		対照区	20.2	87.1	3.8
C	平成29年度	実証区	14.5(▽1.5)	74.6(△14.1)	4.3(▽6.3)
		対照区	16.0	60.5	10.6
	平成30年度	実証区	15.3(▽2.0)	61.7(△3.2)	4.2(▽0.7)
		対照区	17.3	58.5	4.9
D	平成29年度	実証区	24.2(▽0.6)	87.6(△4.0)	1.3(▽2.1)
		対照区	24.8	83.6	3.4
	平成30年度	実証区	25.8(▽0.2)	90.4(△2.8)	5.4(▽3.2)
		対照区	26.0	87.6	8.6

※末端の平均水温：出穂後 20 日間における日平均水温の期間平均値。ただし、出穂日が水温測定開始前の場合の期間は水温測定開始日から出穂後 20 日目まで。

※実証区、対照区とも同一水源であり、栽培条件が同程度の地区を抽出。

農林水産省農村振興局調査



このことから、既にパイプライン等水路が整備されている地区においては、パイプライン等による配水が水稻の高温障害の回避又は低減に寄与している可能性があります。

また、水源となるダム貯水池に選択取水設備が設置されている場合には、水温が低い水深から取水することで、表層取水と比較して水温が低い冷涼な水温の水を供給できます。(参照: 3-4.ダム貯水池等の選択取水設備の活用)

(参考6) パイプライン用水路の水温分布と品質向上効果

研究のポイント

国営農業水利事業で整備されたパイプライン用水路を対象に、河川取水口から水路内を流れている用水の温度変化を調べ、未整備の開水路の水温と比較しました。その結果、パイプライン用水路では、夏季に冷涼な用水を末端まで供給でき、収穫した米の品質も高くなりました。

研究の背景

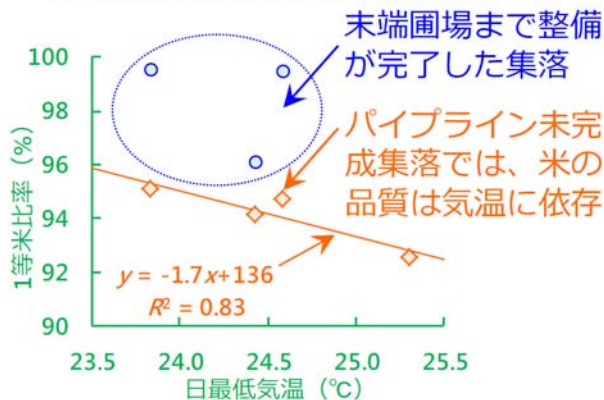
- 近年、気候変動の影響と思われる、夏季の高温傾向によって、稲の高温登熟障害が増加しています。
- 稲の高温登熟障害の発生を防ぐ方法の一つに、冷たい水を圃場に供給することですが、下流域の平野部では冷たい水を確保することが困難です。

事業効果

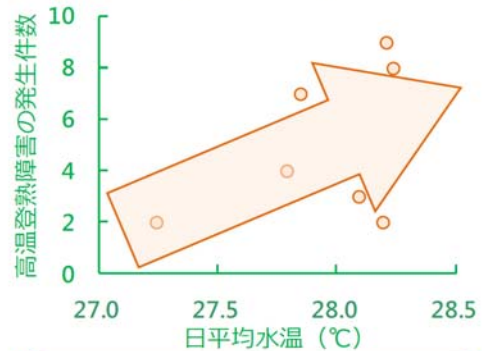
農業農村整備事業により、用水路をパイプライン化することで、以下の効果が確認されました。

- 河川取水口から遠く離れた地点でも、パイプラインを流れる用水の温度はほとんど上昇しません。
- 末端圃場までパイプライン整備が完了した集落で収穫された米は、気温の影響を受けず、未完成の集落に比べて、1等米比率が高くなりました。

※1等米比率：米の品質を判断する指標の一つで、JAが行う等級検査で、1等と判定された割合です。

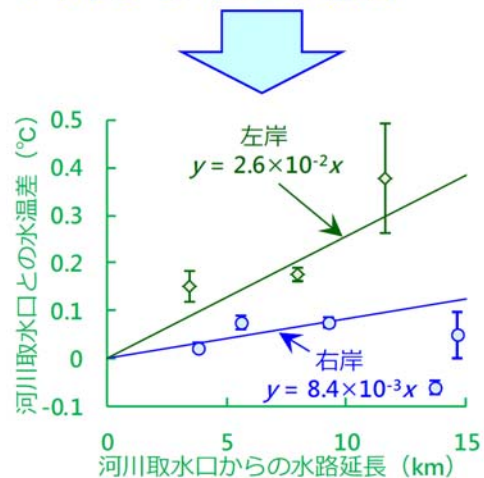


圃場までパイプライン化された集落は、品質も高い傾向を示す。



開水路地区では水温が高く、高温登熟障害の発生が増える。

パイプラインの場合・・・



水路末端部でも水温はほとんど上がらない。

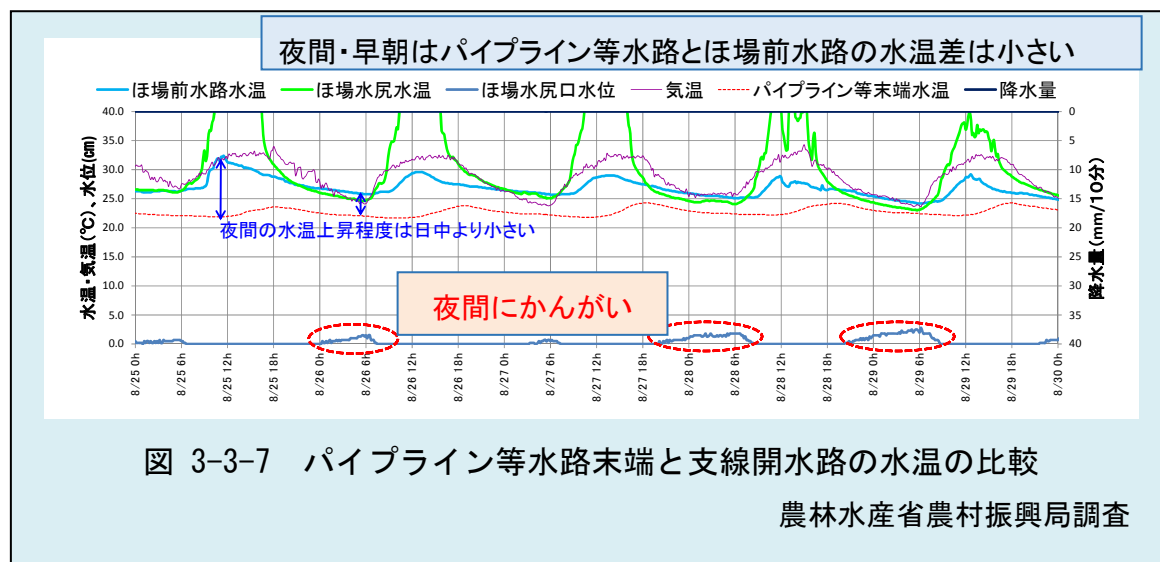
(出典：坂田 賢(2014)：パイプライン用水路の水温分布と品質向上効果、平成 26 年度農業農村整備のための実用新技術成果選集、p.74)

3-3-4. 適応条件、留意事項・課題

用水がパイプライン等水路の末端からほ場に達するまでの開水路区間を流下する間に、外気温が水温よりも高い条件下にあっては、日射や気温などの影響を受け、水温は徐々に上昇していきます。開水路流下過程における水温上昇の程度は、(図 3-3-5 で開水路の距離と水温上昇の関係を示したとおり)開水路区間の距離に左右されるほか、気象条件、流量(流速・水深)、周辺の土地条件などの影響も考えられますが、開水路の区間または流下時間が長くなるほど冷涼用水の供給効果が低減することは、避けられません。

一つの方法として、開水路の流下区間について蓋かけを行うなど、日射の影響による水温上昇をできる限り回避することが考えられます。

一方、気温が低く、日射の影響を受けない夜間は、開水路区間の流下過程における水温上昇が低減され、冷涼な水温が比較的維持される傾向にあります(図 3-3-7)。この傾向を活かし、パイプライン等水路の末端から離れたほ場においても本技術による冷涼用水送水機能を発揮できる手法として、「夜間かんがい」が効果的です。



(参考7) 夜間かんがいによる水稻の高温障害抑制効果の事例

- ① コシヒカリを用いて出穂後の水管理の違いによる胴割粒、乳白粒の発生状況を調査した結果、夜間かんがいを実施することにより、慣行に比べて胴割粒、乳白粒の発生は減少した¹¹⁾。
- ② ほ場から用水路までのパイプラインが整備されたほ場では高温障害の発生する夏季の夜間にかんがいを行うことで地温低下を促すことができた¹²⁾。
- ③ パイプライン利用区において、夜間かんがい(18時～翌朝6時)を行ったほ場が、慣行かんがい(6時～18時)を行ったほ場に比べ、収量、品質、食味とも上回る結果となった¹³⁾。

11) 中村啓二ら(2003): 登熟期間の水管理の違いが胴割粒・乳白粒の発生に及ぼす影響、北陸作物学会報(The Hokuriku Crop Science) 38 : 18～20

12) 坂田 賢ら(2015): パイプライン水路からの灌漑が夏季の圃場地温に及ぼす影響、農業農村工学会誌、第83号第9号

13) 大塚直輝ら(2013): パイプラインを利用した夜間灌漑実証試験、農業農村工学会誌、第81号第4号

3-4. ダム貯水池等の選択取水設備の活用

【当該技術の機能】

ダム貯水池の選択取水設備は、冷濁水対策として貯水池鉛直方向の任意の水深から取水できる構造とした設備です。

【上記機能を用いた気候変動適応への活用】

- ・作物の高温障害への適応：ダム用水の受益地における作物の高温障害対策として、貯水池の中層以深から取水することで冷涼水を供給できる可能性があります。
- ・気温上昇によるダム貯水池等の水質悪化への適応：アオコ等の植物プランクトンが異常増殖した場合には、中層から取水することで植物プランクトンが少ない水を取水できる可能性があります。また、植物プランクトンが増殖しやすい夏季に取水する水深を調節することで、植物プランクトンが増殖しにくい貯水池環境を形成できる可能性があります。

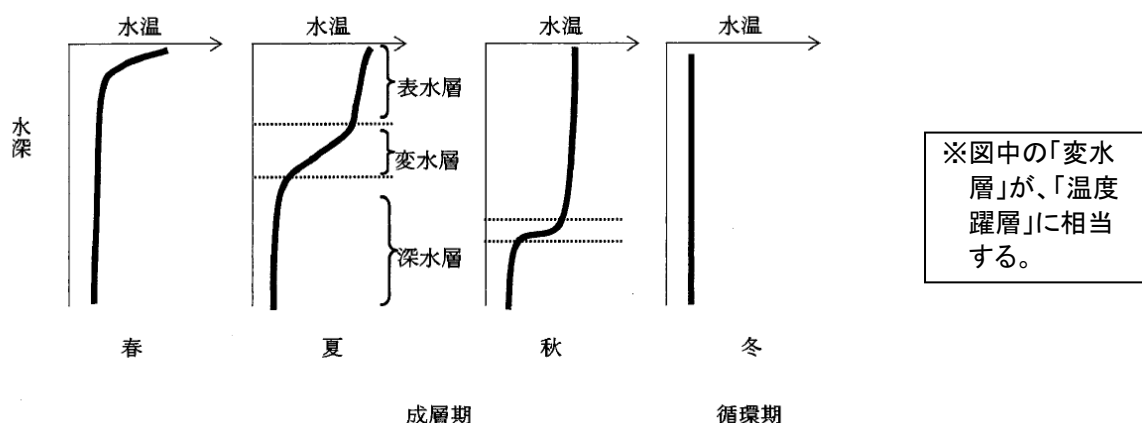
【解説】

3-4-1. 技術等の本来の機能の概要

(1)ダム貯水池における水温の鉛直分布

ダム貯水池では、太陽からの日射で水面が暖められることで、水面付近の水温が上昇し、水深が深くなると水温が低下する水温成層という現象がみられます(実際には、水温成層の形成には、いろいろな要因が複合的に影響します)。

水温が大きく変化する水深の範囲を水温躍層といいます。このような成層や躍層は、水温だけでなく、水の濁り(濁度)によって形成される場合があります。水温成層は、図 3-4-1 に示すように春から秋まで形成され、秋の終わりには水面が冷えて、密度が重くなり、沈むことで、自然に水深方向の循環が起こり、水温は水深方向でほぼ一様となります。



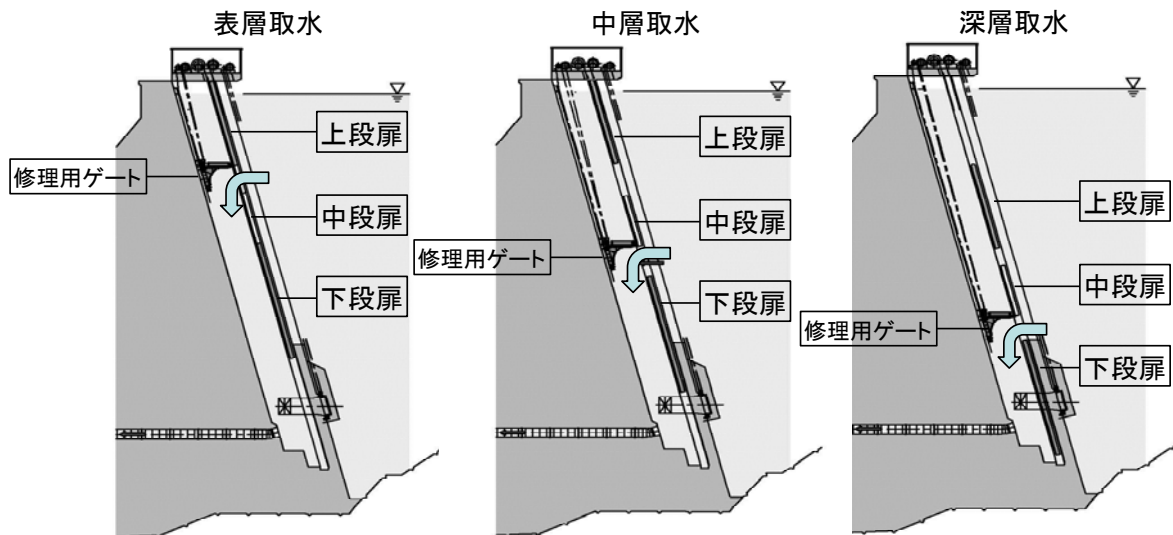
(出典:国土交通省河川環境課、曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案)、平成17年10月)

図 3-4-1 一般的な貯水池の水温鉛直分布(概念図)

(2)選択取水設備の概要

選択取水設備は、ダム貯水池において、水温や水質による成層化の生じている湖水から、放流に適した水質(水温、濁り及びクロロフィル a 等の濃度)を選択的に取水する設備です。

図 3-4-2 に示すように、任意の水深の湖水を取水します。



(出典 : 水資源機構荒川ダム総合管理所 Web サイト
<http://www.water.go.jp/kanto/arakawa/takizawa/kanri.html> (2018.9 閲覧)を元に作成)

図 3-4-2 多重式ゲート選択取水設備の運用

(3)選択取水設備の機能と運用

一般的な機能と運用方法は以下のとおりです¹⁴⁾。

1)水温を制御する機能

①冷水現象軽減

- ・水温成層が安定的に形成されている場合には、冷水軽減対策として、水温躍層より上層の温水層から取水を行う。
- ・洪水時や貯水位低下時に冷水を放流することを避けるために、予め水温躍層を形成したい層から取水する。

②温水現象軽減

- ・水温成層が形成されている場合には、選択取水位置を下げ、冷涼な水の取水を行う。

14)国土交通省河川環境課:曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案)、平成 17 年 10 月

2)濁水長期化現象を軽減する機能

- ・貯水池内に貯留される濁質物質の総量を低下させるために濁度の高い層から取水する。
- ・濁度の低い層から選択取水を行い放流水の濁りを抑える。

3-4-2. 気候変動に対する適応技術としての活用

農業用水における選択取水設備の運用は、表層の温かい水を取水することが一般的ですが、平均気温の上昇による高温障害対策への対応としては、「温水現象軽減」の運用に準じて、選択取水位置を下げ、冷涼な水を取水することが考えられます。

平均気温の上昇は、富栄養化現象を促進し、アオコの発生など貯水池水質を悪化させる場合があります。水質悪化時には、選択取水により、悪化した水を避けて取水することが考えられます。また、富栄養化による水質悪化を抑制するため、選択取水によりダム貯水池表層の回転率を上げたり、表層水を厚くしたりする運用を行うことも考えられます。

3-4-3. 具体的な活用と効果

(1)気温の上昇に伴う高温障害への適応

「3-3. パイプライン等の活用」と同様に、水稻の高温障害対策として、冷涼な用水の供給機能の活用が考えられます。具体的には、パイプライン等水路の水源となっているダム貯水池において、選択取水設備を用いて、水温の低い中層からの取水により冷水を供給することで、水稻等の高温障害を抑制できる可能性があります(図 3-4-3 参照)。

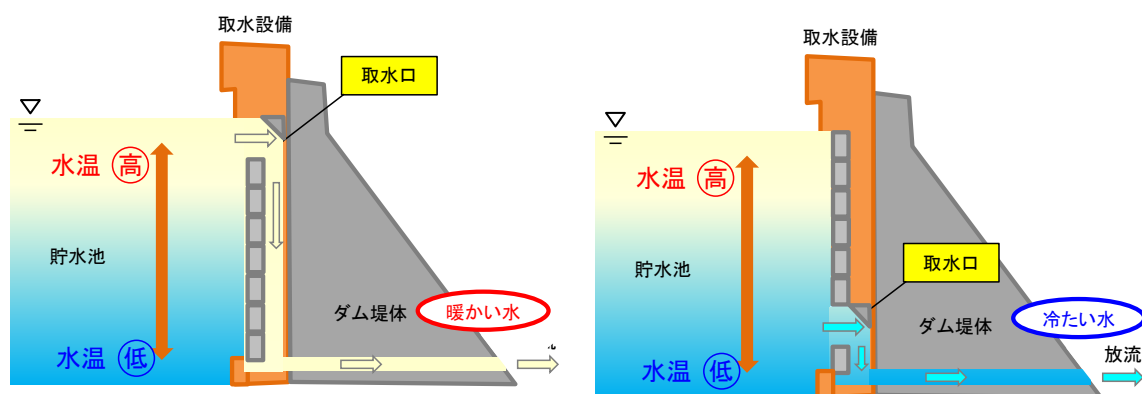


図 3-4-3 冷水を取水する選択取水設備の運用

(2)気温の上昇に伴う貯水池の水質悪化への適応

気温の上昇に伴い、ダム貯水池では表層の水温が上昇することで藻類が増殖しやすくなり、アオコなどによる富栄養化現象が生じます。

選択取水設備の活用は、①直接アオコ等を放流したり、取水を回避したりする運用、②

貯水池内の水温成層を制御し、アオコ等の増殖を抑制する運用、の2つがあります。

以下に、それぞれの運用方法について詳述します。

①直接アオコ等を放流したり、取水を回避したりする運用¹⁵⁾

アオコが発生している状況では、選択取水設備を表層取水として運用することで、表層のアオコを放流して貯水池のアオコを減少させたり、アオコが発生していない中下層水を選択的に取水することで水利用への被害を回避したりすることができます。

②貯水池内の水温成層を制御し、アオコ等の増殖を抑制する運用

選択取水設備を用いて貯水池内の水温成層を制御する方法には、水温成層期(春季から夏季)の貯水池内における熱の蓄積を抑えることで貯水池表層の水温の上昇を防ぐ方法と、選択取水を運用して成層期(春季から夏季)の貯水池内における表層水を厚くする方法¹⁴⁾があります。

前者は、春季から夏季にかけて表層取水を行うことにより、日射によって暖められる表層水を極力放流し、水質悪化を発生させる植物プランクトンに適した水温となる期間を短縮する運用です。

後者は、選択取水の位置を深い位置に設置することで、放流に伴って形成される水温躍層位置を低下させ、成層期(春季から夏季)の貯水池内における表層水を厚くすることで、図 3-4-4 に示すように植物プランクトンを光の届きにくい深い水深まで誘導する運用です。

選択取水設備の運用による富栄養化対策としての効果は、ダム特性、地域特性、水質・気象特性など様々な事項を考慮に入れて検討する必要があります。

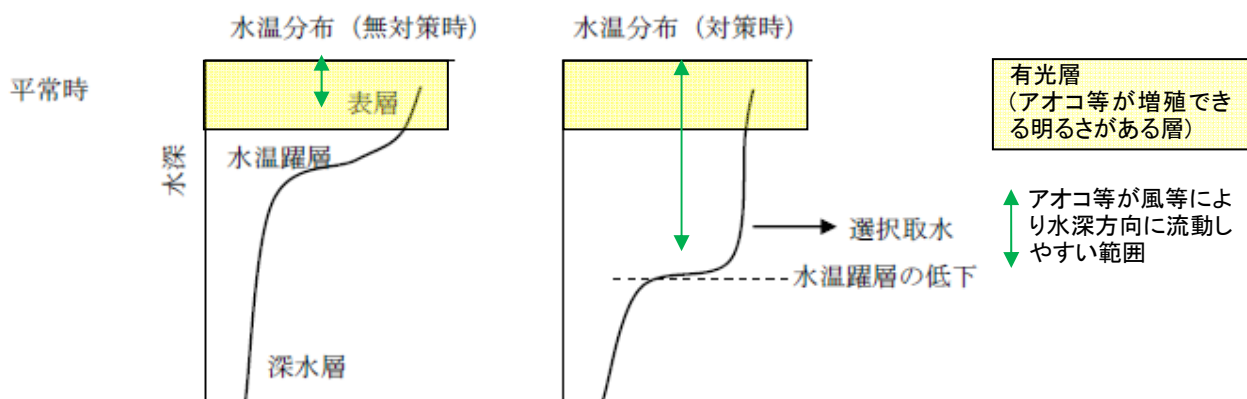


図 3-4-4 表水層を厚くする選択取水設備の運用イメージ

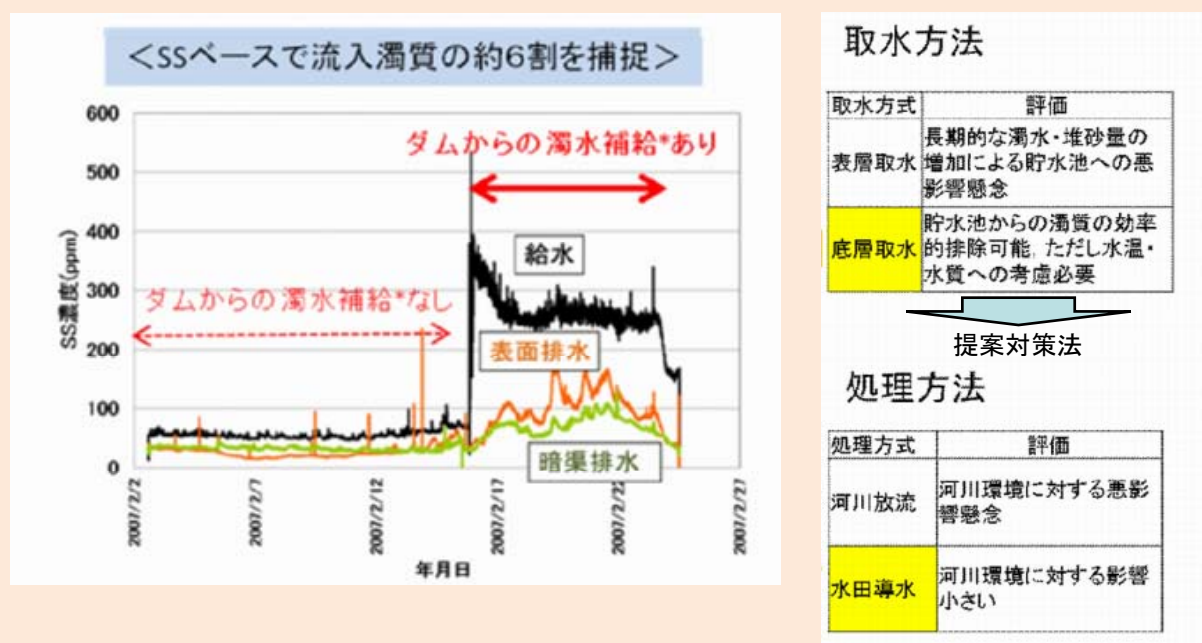
15)農林水産省：農業用貯水施設におけるアオコ対応参考図書、平成 24 年 3 月

3-4-4. 適応条件、留意事項・課題

- ①高温障害対策として、選択取水によって取水した冷涼な水を用いる場合、受益地まで冷涼状態を保持するには、取水設備(貯水池)から直接取水し、パイプライン等による送水ができる条件にある必要があります。
- ②ダムからの直接取水ではなく、河川に一旦放流し、下流の堰等から取水している場合は、選択取水された冷水の河川放流が、下流河川の水産や親水利用等に影響を与えないことを、確認する必要があります。

（参考7）大雨や短時間強雨の増加に対する選択取水設備の活用

大雨や短時間強雨の増加に伴い、ダム湖への土砂流出が増大しますが、濁水長期化対策として行われる高濁度の濁水を選択的に取水した水を、水田に導水することでダムの延命を図るとともに河川環境への悪影響を低減し、一方で、水田へ粘土を供給し、耕土を改良する効果も期待されます。これは、流水客土といわれる手法ですが、水田生態系への影響など考慮する必要があります。



（出典：農業用ダム貯水池の底層取水と水田導水を組み合わせた濁水対策 農研機構）

図 3-4-5 非かんがい期における水田への濁水導水試験結果(2007 年 2 月)

参考文献

章	文献名称等
1章	「農林水産省気候変動適応計画」平成30年11月改正 農林水産省
	「農業農村整備における地球温暖化対応策のあり方」平成20年1月30日 農業農村整備における地球温暖化対応検討会
	「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート2018～日本の気候変動とその影響～」2018年2月 環境省 文部科学省 農林水産省 国土交通省 気象庁
2章	「農林水産省気候変動適応計画」平成30年11月改正 農林水産省
3章	「田んぼの水管理をICTで遠隔操作・自動制御」(2017年8月22日、農研機構HP)
	「水管理は飽水管理！」(長岡農業普及指導センター)
	藤原ら(2013):夏期の飽水管理が土壌環境と玄米品質に及ぼす影響、農業農村工学会誌、No.81(4)
	竹下ら(2013):「山田錦」における高温障害抑制のための掛流し灌漑試験、農業農村工学会誌、No.81(4)
	「平成29年度地球温暖化影響調査レポート」(H30.10 農林水産省)
	「平成26年度地球温暖化影響調査レポート」(H27.8 農林水産省)
	「気象情報及び作物生育モデルを利用した水稻高温障害を軽減する栽培管理技術の開発、水田センサ×技術普及組織による農業ICT導入実証プロジェクト」(平成28年、千葉県)
	スマート農業技術カタログ(平成30年10月更新) http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/smart_agri_technology/smartagri_catalog.html
	「平成29年度地球温暖化影響調査レポート」(H30.10 農林水産省)、p60
	フォアス縦断面図 農林水産省HP http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_kyogikai/18/pdf/data09.pdf
	フォアス俯瞰図 農研機構HP
	小泉健(2013):地下水水位制御システム(フォアス)の魅力と地球環境への貢献、Seneca 21st、平成25年7月8日
	坂田賢ら(2017):「重粘土転換畑における地下水水位制御システム整備で施工された弾丸暗渠の排水性」、農業農村工学会論文集(No.304(85-1))
	粟生田忠雄(2017):「地下灌漑稲作の農村環境恒常化、日本環境学会第43回研究発表会(2017)」
	友正達美ら(2015):代かき用水需要の平準化による春渇水への適応の可能性、農業農村工学会誌第83巻第9号
	坂田賢ら(2017):地下水水位制御システムを利用した地下灌漑時における浸潤域・地下水位の経時変化と水収支、農業農村工学会論文集No.304(85-1)
	平直人(2015):津波被災水田における大豆塩害抑制技術、水土の知(Vol83, No.12)
	原口暢朗、若杉晃介(2016):水田における暗渠管を利用した地下灌漑に及ぼす下層土の透水性の影響、農業農村工学会誌、84(3)、27-30
	「用排水路設計指針」(平成27年7月 北海道農政部)
	「設計基準「パイプライン」技術書」(平成21年3月)
	坂田賢(2014):パイプライン用水路の水溫分布と品質向上効果、平成26年度農業農村整備のための実用新技術成果選集、p.74
	中村啓二ら(2003):登熟期間の水管理の違いが胴割粒・乳白粒の発生に及ぼす影響、北陸作物学会報(The Hokuriku Crop Science) 38: 18~20
	坂田賢ら(2015):パイプライン水路からの灌漑が夏季の圃場地温に及ぼす影響、農業農村工学会誌、第83号第9号
	大塚直輝ら(2013):パイプラインを利用した夜間灌漑実証試験、農業農村工学会誌、第81号第4号
	「曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案)」(平成17年10月 国土交通省河川局河川環境課)
	水資源機構荒川ダム総合管理所Webサイト http://www.water.go.jp/kanto/arakawa/takizawa/kanri.html (2018.9閲覧)
	「農業用貯水施設におけるアオコ対応参考図書」(平成24年3月 農林水産省)