

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：82405

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07635

研究課題名(和文) 水稲の収量に対するオゾンリスク評価とオゾン感受性の品種間差異に関する研究

研究課題名(英文) Effects of ozone on yield of Japanese rice cultivars

研究代表者

米倉 哲志 (Yonekura, Tetsushi)

埼玉県環境科学国際センター・自然環境担当・主任研究員

研究者番号：40425658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：日本の水稲15品種を対象にオゾンの収量に対する影響をオゾン暴露実験によって評価した。その結果に基づき、オゾンが及ぼす影響の品種による違いを評価し、収量に対するリスク評価を行った。2作期のオゾン暴露実験に基づくと、水稲の収量に対するオゾン感受性は、「はえぬき」が比較的高く、「コシヒカリ」や「彩のかがやき」が中庸で、「ヒノヒカリ」や「日本晴」は低感受性であった。さらに、10品種を対象に相対収量5%低下をエンドポイントとした収量に対するオゾンのクリティカルレベルを検討したところ、昼7時間のAOT40で、3.1～9.1 ppm・hであり、10品種の全結果に基づいた場合は、5.1 ppm・hであった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で、10品種以上の我が国の水稲品種を対象にしたオゾン影響評価実験が初めて実施され、水稲収量に及ぼすオゾン影響の品種間差異を検討した。この検討結果により、オゾンの悪影響を受けにくい品種や受けやすい品種が明らかになり、実際の水稲栽培への反映に留まらず育種研究やオゾン耐性遺伝子の抽出など、幅広いオゾン研究の基本データとしても重要なものとなると考えられる。さらに、水稲に及ぼすオゾンリスク評価モデル式を構築することによって、水稲に対するオゾンのクリティカルレベル評価を行った。この結果は、我が国の植物保護のためのオゾンの環境指針値の提唱に向けた貴重なデータとなると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The influence of ozone of the yield of 15 Japanese rice cultivars were evaluated by ozone exposure experiment. Based on the results, the difference in the effect of ozone among cultivars was evaluated, and the ozone risk assessment for rice yield was performed. Based on ozone exposure experiments over two cropping periods, ozone sensitivity to rice yield was relatively high for "Haenuki", moderate for "Koshihikari" and "Sainokagayaki", and low for "Hinohikari" and "Nihonbare". In addition, the critical level of ozone to yield with an endpoint of 5% relative yield reduction was examined. The results showed that the critical level of ozone in 10 cultivars ranged from 3.1 to 9.1 ppm h at AOT40 for 7 hours in the day during growth period, and was 5.1 ppm h based on all the results of 10 cultivars.

研究分野：植物生理生態学

キーワード：オゾン 水稲 収量 品種間差 クリティカルレベル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我が国を含むアジアにおいて地表オゾン濃度が上昇しつつある。オゾンは光化学オキシダントの大部分を占めている成分であり、環境基準が全く達成されていない大気汚染物質である。我が国では1970年代よりオゾン濃度は改善傾向にあったが、近年再び、濃度上昇傾向が認められている。さらに、オゾンは窒素酸化物等の光化学反応による二次生成物質であるため、温暖化によって生成反応が促進され、更なるオゾン濃度上昇が危惧されている (IPCC, 2007)。このオゾンは酸化性の高い物質で、植物への毒性が高く、成長や収量の低下が引き起こされる (米倉ら, 2000)。日本国内で観測されるオゾン濃度で多くの農作物の生育や収量が低下することが明らかになっている (野内ら, 1988)。我が国の主要農作物の水稲においてもオゾンによる収量低下などの悪影響が指摘されており (長谷川ら, 2008)、水稲の収量に対するオゾン感受性は国内外の品種間で異なっているが、その要因はあまり良く分かっていない (Yonekura et al., 2005)。

また、欧米を中心に、オゾンの農作物生産へのえいきょうリスク評価に関する研究が進められており、このリスク評価には、単に平均オゾン濃度を用いた影響評価ではなく、ドース (濃度×時間) を基にしたオゾン指標を用いて、「オゾン指標 植物応答モデル式」を構築し、オゾンのクリティカルレベル (明らかに収量減少が発現するオゾンレベル) を評価する手法を用い、オゾンによって5~10%収量が低下するレベルをオゾンのクリティカルレベルのエンドポイントとしてリスク評価が進められている (UN ECE, 2015, Fuhrer et al., 1997)。

一方、我が国において植物に対するオゾン被害のリスク評価手法に関する研究はほとんど実施されておらず、取り組みが非常に遅れている。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、我が国の作付面積上位品種や近年育種された高温耐性品種などの水稲15品種を対象に、収量に対するオゾン影響を評価し、オゾンの悪影響を受けにくい品種や受けやすい品種を抽出する。さらに、その収量に対するオゾン感受性に品種間差異が発現する要因を検討する。

さらに、水稲生産性に対するオゾンリスク評価を行う。リスク評価には、欧米でオゾンリスク評価に用いられている、クリティカルレベル (明らかに収量減少が発現するオゾンレベル) を検討する手法を用いて、我が国独自の「水稲の収量に及ぼすオゾンリスク評価モデル式」を構築し、明らかに収量減少が発現するオゾンレベルであるクリティカルレベルを評価する。

### 3. 研究の方法

本研究では、オゾン濃度条件を変えられるガラス温室型オゾン曝露チャンバーを用いたオゾン曝露実験を2017~2019年度の3作期にわたって実施し、水稲15品種の収量や収量構成要素などに対するオゾン障害の発現程度について検討した。

2017年度は、水稲11品種 (コシヒカリ、彩のかがやき、キヌヒカリ、彩のきずな、ふさおとめ、あきたこまち、ひとめぼれ、ヒノヒカリ、はえぬき、日本晴、朝の光) を、2018年度は水稲11品種 (コシヒカリ、彩のかがやき、キヌヒカリ、彩のきずな、ふさおとめ、あきたこまち、ひとめぼれ、ヒノヒカリ、はえぬき、日本晴、朝の光、あさひの夢) を、2019年度は水稲14種 (コシヒカリ、彩のかがやき、キヌヒカリ、彩のきずな、ふさおとめ、あきたこまち、ひとめぼれ、ヒノヒカリ、はえぬき、日本晴、あさひの夢、埼560、SL2226、SL2242) 対象にオゾン曝露実験を実施した。3連のオゾン濃度条件を変えられるガラス温室型オゾン曝露チャンバーを用い (写真1)、オゾン処理区は、オゾン除去した浄化空気を導入する処理区 (対照区)、野外の空気をそのまま導入する処理区 (野外区)、野外の空気のオゾン濃度の1.5倍になるようにオゾンを添加した処理区 (1.5×野外区) の3試験区を設け、各品種とも各試験区で12個体ずつ育成した。育成期間終了時において、収量および収量構成要素 (穂数、粒数、稔実率、千粒重) を測定した。



写真1. オゾン曝露チャンバー

### 4. 研究成果

2017年度の水稲11品種を対象としたオゾン曝露実験の結果、それぞれの品種において、収量はオゾンによる若干の低下傾向を示したが、一元配置分散分析による有意なオゾンの収量に対する影響は実施した11品種の全てにおいて認められなかった。収量構成要素 (穂数、粒数、1000粒重、登熟割合) においても同様であり、オゾンに有意な影響は認められなかった。なお、図1に結果の一例として、「コシヒカリ」と「彩のかがやき」の2品種の収量を示した。

2018年度の水稲11品種を対象としたオゾン曝露実験の結果、それぞれの品種において、収量はオゾンによる若干の低下傾向を示したが、一元配置分散分析による有意なオゾンの収量に対する影響が認められたのは、12品種中2品種 (「ふさおとめ」、「朝の光」) のみであった。収量がオゾンにより低下した2品種では、収量低下の要因が異なっており、「ふさおとめ」は、主に

穂数の低下による粒数の有意な低下が収量低下の要因と考えられた(図2)。一方、「朝の光」においては主に結実率の低下による粒数の有意な低下が収量低下の要因と考えられた(図3)。

2019年度の水稲14品種を対象としたオゾン暴露実験の結果、それぞれの品種において、収量はオゾンによる若干の低下傾向を示したが、一元配置分散分析による有意なオゾンの収量に対する影響がすべての品種で認められなかった。しかしながら、オゾンによる結実率の低下による粒数の有意な低下が数品種において認められた。図3に結果の一例として、「コシヒカリ」と「彩のかがやき」の2品種の収量を示した。

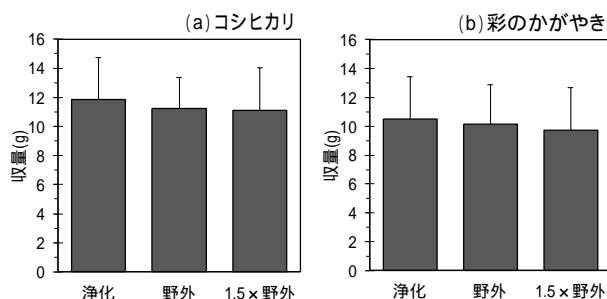


図1. 2017年度における水稲2品種(a: コシヒカリ、b: 彩のかがやき)の収量に対するオゾンの影響. 図中のバーは標準偏差を示している.

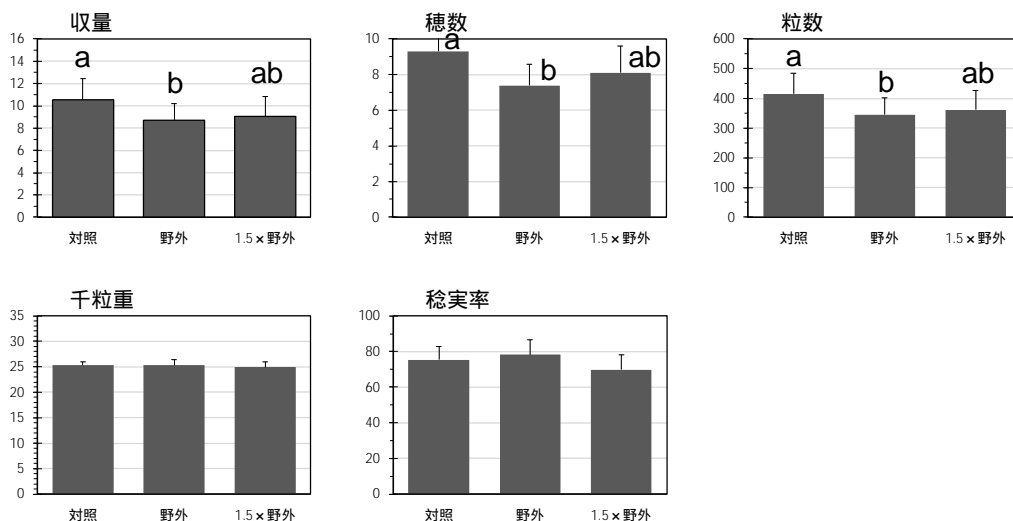


図2. 2018年度における「ふさおとめ」の収量と収量構成要素に対するオゾンの影響. 図中のバーは標準偏差を、異なるアルファベット間には有意差があることを示す(p < 0.05).

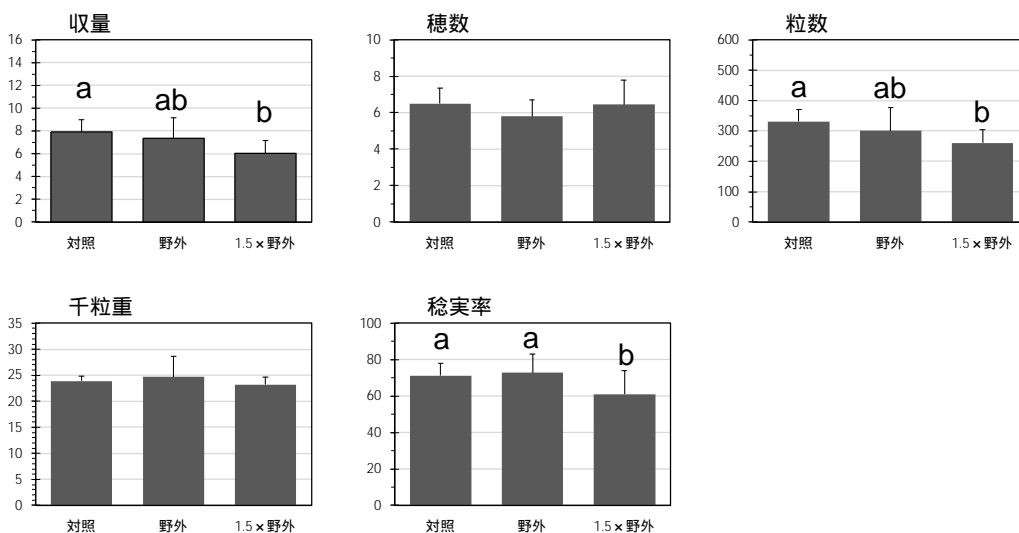


図3. 2018年度における「ふさおとめ」の収量と収量構成要素に対するオゾンの影響. 図中のバーは標準偏差を、異なるアルファベット間には有意差があることを示す(p < 0.05).

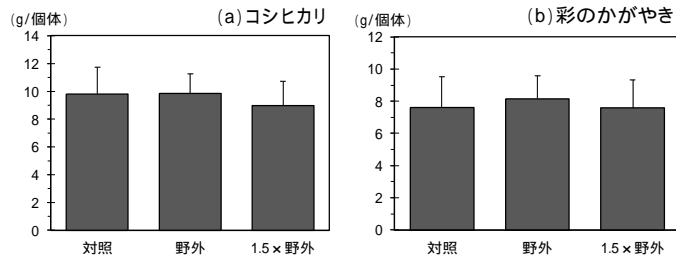


図4. 2019年度における水稲2品種(a: コシヒカリ、b: 彩のかがやき)の収量に対するオゾンの影響. 図中のバーは標準偏差を示している.

3か年の実験において、収量に対するオゾン感受性の差異は実施年によって多少異なっており、明瞭ではなかった。特に、実施した2017~2018年は、これまでに比べ比較的オゾン濃度が低く推移していたため、先行の研究結果に基づくと、水稲収量に対して明瞭な悪影響が発現するオゾンレベルに達していなかったとも考えられ、多くの品種でオゾンによる有意な収量低下が認められなかった要因の一つとして考えられた。しかしながら、オゾンによる収量低下の要因としては、先に結実率の低下による粒数の低下が認められ、その後、穂数の低下が認められる傾向にあった。

さらに、3か年のオゾン暴露実験結果を基に、3作期全てでオゾン暴露実験を実施した水稲10種(コシヒカリ、彩のかがやき、キヌヒカリ、彩のきずな、ふさおとめ、あきたこまち、ひとめぼれ、ヒノヒカリ、はえぬき、日本晴)を対象に、各年のオゾン浄化区(対照区)の収量を100%とした時の相対収量と育成期間中の昼間7時間40ppb以上の積算オゾンドースであるAOT40との関係を各品種において検討した。このAOT40というオゾン暴露指標は、主に欧州においてオゾンの植物へのリスク評価に用いられている「閾値である40ppbを超える1時間値の閾値超過分を積算したオゾンドース」で、Accumulated exposure Over a Threshold of 40ppbの略称である(Fuhrer et al., 1997)。この検討の際に、実験結果を精査したところ、2019年の実験において、対照区の生育が不良であった品種が認められており、オゾン影響評価に用いるのは不適であると判断された。そこで、2017年と2018年の2か年のオゾン暴露実験結果を用いてオゾンリスク評価モデル式の検討を行った(図5)。それぞれの品種において直線回帰式を求めて、オゾン(AOT40)の増加に伴う相対収量の低下程度を検討したところ、その低下程度は、品種によって異なっていた。2年間の実験結果に基づくと、水稲の収量に対するオゾン感受性は、「はえぬき」が比較的高く、「コシヒカリ」や「彩のかがやき」が中庸で、「ヒノヒカリ」や「日本晴」は低感受性であった。しかしながら、この相対的なオゾン感受性は、実施年によっても異なっており、直線回帰式の決定係数が低い品種(「ヒノヒカリ」など)もあったため、品種間差異の評価には更なる繰り返し実験が必要であると考えられた。さらに、相対収量5%低下をエンドポイントとした収量に対するオゾンのクリティカルレベルを検討したところ、昼7時間のAOT40で、3.1~9.1 ppm・hであり、用いた10品種の全結果に基づいた場合は、5.1 ppm・hであった。欧州において小麦の収量を対象としたオゾンのクリティカルレベルは、AOT40で、3 ppm・h(3.3 ppm・hを丸めた値)が提唱されている(UN ECE, 2015)。このことより、日本の水稲品種は、欧州の小麦品種よりは収量に対するオゾン感受性が低いと考えられた。

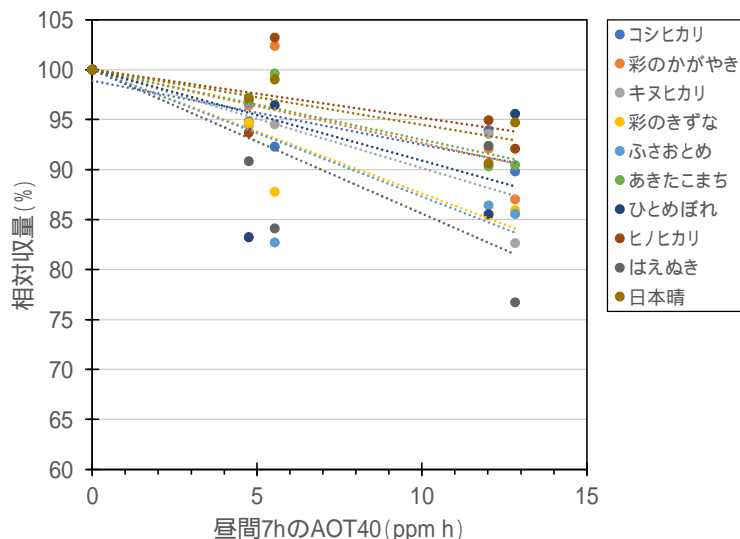


図5. 水稲10種のオゾン浄化区(対照区)の収量を100%とした時の相対収量と昼間7時間のAOT40との関係(2017年~2018年の2年間の実験結果)

<引用文献>

- IPCC, Climate Change 2007 - IPCC Fourth Assessment Report (2007)
- 米倉哲志ら、ダイズの成長、収量、子実成分および発芽率に対するオゾンと土壤水分ストレスの単独および複合影響、大気環境学会誌、35:36-50 (2000)
- 野内勇ら、光化学オキシダントに対する農作物及び園芸作物の相対的感受性比較、大気汚染学会誌、23:643-651 (1988)
- 長谷川利弘、日本海沿岸部における農作物収量の推移-地表オゾン濃度上昇との関連-、日本農業気象学会大会講演要旨集、0S2-6 (2008)
- Yonekura T. et al., Impacts of tropospheric ozone on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agricultural Meteorology, 60, 1045-1048 (2005)
- UN ECE, Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends, Chapter 3: Mapping Critical Levels for Vegetation. p.134 (2015)
- Fuhrer, J. et al., Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. Environmental Pollution, 97, 91-106 (1997)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 米倉哲志、王効拳、三輪誠
2. 発表標題 埼玉県の主要水稲品種の収量に対するオゾンの影響
3. 学会等名 第59回大気環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 米倉哲志、王効拳、三輪誠
2. 発表標題 水稲（コシヒカリ）の収量を対象としたオゾンのクリティカルレベル評価に用いるオゾン指標の検討
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米倉哲志、王効拳、三輪誠
2. 発表標題 オゾンの水稲品種コシヒカリの収量に対する影響に基づいたオゾンのクリティカルレベルの評価
3. 学会等名 日本農業気象学会2020年全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大気環境学会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 464
3. 書名 大気環境の事典	

〔産業財産権〕

[その他]

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	王 効拳  (Oh Kokyo)  (20415392)	埼玉県環境科学国際センター・自然環境担当・担当部長    (82405)	