

奨励金No.1481

対流圏オゾンがコムギ生産量に与える影響のプロセスモデルによる将来予測

加藤 知道

北海道大学大学院農学研究院 教授

The estimation of tropospheric ozone impact on wheat production by a process-based model

Tomomichi Kato,

Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Professor



対流圏オゾン濃度の増減がコムギ生産に与える影響を定量することは、人間活動の結果としての大気汚染が、世界の食糧生産や炭素循環に及ぼす影響を考える上で大変重要である。対流圏オゾン濃度の増加は、光合成を阻害し収量に対して負の影響を与える。本研究ではプロセスベースの作物モデルである MATCRO-wheat に対して対流圏オゾンの影響を組み込み、将来予測を行った。現在におけるオゾンによるコムギ収量の低下は 2-3% 程度であり、将来は気候シナリオごとのオゾン濃度の増減に応じた収量の減少が見られた。

One of the important issues of anthropogenic air pollution effects on food production and carbon cycle at global scale is to quantify how much tropospheric ozone concentration affects wheat production. The increase in tropospheric ozone concentration inhibits photosynthesis and negatively impacts crop yields. We incorporated the effects of tropospheric ozone into a process-based crop model, MATCRO-Wheat, to predict yield outcomes. We estimated that the wheat yield reduction is about 2-3% at present, and is predicted that wheat yield reductions due to ozone under different climate change scenarios varied by region.

1. 研究目的

オゾンは強い温室効果を持つ物質である。そのため濃度の増加は気候変動と大気汚染の両側面における大きな課題となっている。対流圏オゾン濃度は、近代化と工業化に伴い自動車の排気ガスや工場、発電所からの排出物を主原因として増加を続けてきた。オゾンは排気に含まれる窒素酸化物と揮発性有機化合物が、紫外線と光化学反応を起こし生成する。また対流圏のオゾンは人体への健康被害だけでなく植物にも影響を与える。被害は多岐に渡り高濃度のオゾン環境下では葉の表面に白色や褐色の斑点が表れ、生育が遅れるなどが確認されている。オゾンが植物体内に取り込まれると活性酸素が生成される。活性酸素は反応性が高

く毒性があるとされるが通常量のオゾンでは抗酸化物質の働きにより影響は無視される。しかし抗酸化作用を上回る量のオゾン濃度環境下では光合成色素やタンパク質の分解、膜脂質の過酸化による分解ストレスが害作用として顕在化する。結果としてクロロフィルやルビスコの濃度低下、そして気孔コンダクタンスの低下が引き起こされる。これまでの研究成果により品種や作物によって程度の大小は確認されているものの対流圏オゾン濃度の増加は収量に対して負の影響を与える。

そこで本研究では作物の光合成、呼吸、転流、フェノロジーなどの生理生態プロセスを再現する MATCRO シリーズ (Masutomi et al, 2016) モデルからコムギ用に開発された MATCRO-wheat に

対してオゾン影響を推定する機能を追加した。次に人工衛星による対流圏オゾン濃度および、二つの気候変動予測シナリオを入力として、2016年から2100年までのコムギ収量におけるオゾン濃度影響の将来予測を行った。

2. 研究内容

2.1. 作物生育プロセスベースモデル MATCRO-wheat

作物収量を予測するモデルには2タイプ存在する。一つが統計的モデルであり、もう一つがプロセスベースモデルである。統計的モデルでは過去の収量や気候データの間の相関を用いて予測を行うが、大きく気候が変化する遠い将来については精度が低くなると考えられている。一方、プロセスベースモデルでは気候や土壌の環境データを入力として、光合成や呼吸といった植物の生理生態的メカニズムを再現するため、遠い将来の予測にも利用可能であると考えられている。本研究で利用する MATCRO シリーズは、プロセスベースモデルで作られており、全球を水平分解能 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ グリッドで格子状に作物生育の計算を行う。入力気象データは、政府間気候変動パネル第六次報告書（IPCC AR6）向けに作成された第六期結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP Phase 6）の気候モデルによる計算結果のうち、共有社会経済パス（Shared Socioeconomic Pathways, SSP）の5つのシナリオから、SSP1-2.6、SSP3-7.0の二つを利用した。SSP1-2.6は持続可能な発展の下で気温上昇を 2°C 未満に抑えるシナリオ（放射強制力 2.6 Wm^{-2} ）であり、SSP3-7.0は地域対立的な経済発展の下で気候対策を導入しないシナリオ（放射強制力 7.0 Wm^{-2} ）である。また計算にあたり、シナリオに対応する大気二酸化炭素濃度、気候データ、窒素施肥そして対流圏オゾン濃度といった入力データを使用している。また計算にあたって春小麦と冬小麦の2種類に対して、灌漑あり、灌漑なしの2つの栽培方法での計4パターンに分

けて行った。

2.2. 作物成長におけるオゾン影響の計算

MATCRO-Wheat に対して新たに組み込んだ対流圏オゾン濃度の影響の核となるのは以下の二つのパラメータである。

$$OZNfactV = 1 - aO3FLX_D \times 0.145 \quad (1)$$

$$OZNfactJ = 1 - aO3FLX_D \times 0.08 \quad (2)$$

ここで、 $OZNfactV$ は MATCRO において酵素ルビスコ量の導出に用いられる係数である。ルビスコ量は光合成速度に影響を与え、オゾン濃度の増加に伴いルビスコ容量は減少し光合成速度も低下する。 $OZNfactJ$ は光合成電子伝達速度の導出に用いられる。これは光合成における電子の伝達速度を意味し、光エネルギーを化学エネルギーに変換するプロセスにおいて重要な意味を持つ。光合成における電子伝達速度もまたオゾン濃度の増加に伴い負の影響を受ける。これら二つのパラメータが主として光合成を計算する際に影響を与え、オゾン濃度の増加に伴い収量が減少する。

また $OZNfactV$ 、 $OZNfactJ$ の二つの要素を決定するのが $aO3FLX_D$ である。 $aO3FLX_D$ はオゾンによるダメージやストレスを評価するパラメータであり、オゾン濃度を元に算出される。オゾン濃度が植物体に影響を与えるような値を超えた際に適応され、葉における空気圧やガス交換能率、気温といったパラメータと組み合わせられている。

2.3. 結果と考察

図1はグローバルなコムギ収量のオゾンの有無による影響を示している。過去（1986年から2014年まで）のオゾン影響考慮の有りと無しの2パターンで推定した子実収量の差は、概ね-3から-2%程度である。一方で二つの SSP シナリオを用いて2016から2100年まで計算を行った場合、年を経つにつれ差は0に近づき、オゾンがコムギ収量に与える影響が小さくなっている。また収量

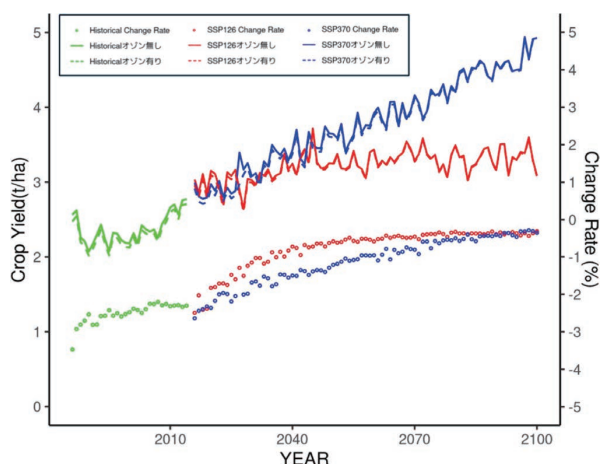


図1. グローバル平均のコムギ収量（単位面積当たり子実収量）の変化

そのものが SSP1-2.6 では 2016 年と 2100 年を比較したとき収量の大きな変化は見られない。一方で、SSP3-7.0 における収量は年が経つにつれて増加している。SSP3-7.0 ではコムギ成長の増加が大気中の二酸化炭素濃度変化に対して強い相関を持っていることから光合成における CO_2 施肥効果が強すぎる可能性がある。

図2及び3では各 SSP シナリオにおける 2091 年から 2100 年の平均の収量の変化率をマップ化したものである。SSP1-2.6 では中国付近で顕著な減少率を見せているものの、他の地域では基本的に 1% 以内の差である。また SSP3-7.0 ではインドの北西部及び南部、中国においては減少率が他の地域と比較して高い傾向にある。しかし大部分は SSP1-2.6 同様にオゾンの影響が 1% 以内に収まっている。図4からわかるようにオゾンの世界平均での濃度自体は SSP1-2.6 では減少し、SSP3-7.0 では増加する傾向にある。オゾン濃度が高くなると収量に対する影響が大きくなるので SSP3-7.0 ではより顕著な差が存在すると事前に推測していたが実際の計算された値では異なっている。

図5及び6は各シナリオにおいてオゾンの影響を考慮した上で、2091 年から 2100 年の平均収量から 2016 年から 2025 年までの平均収量を引いたものである。正の値であれば将来的に収量増加が

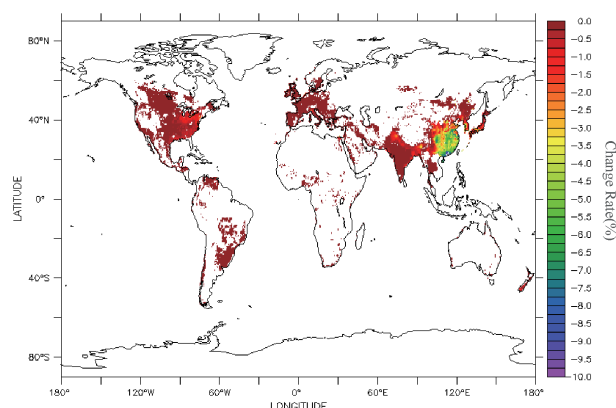


図2. オゾンによるコムギ生産への影響（SSP1-2.6 シナリオ、2091-2100 年の平均子実収量のオゾン影響有無間差分の割合）

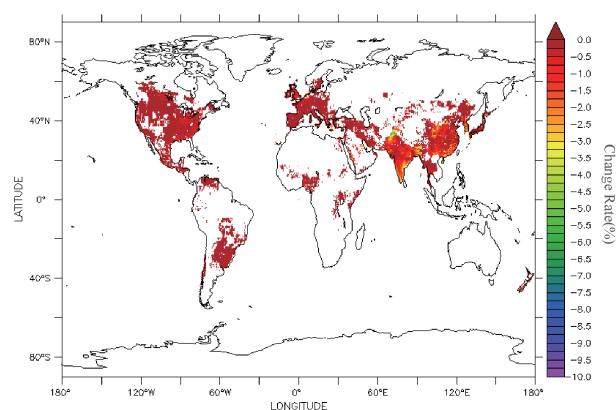


図3. オゾンによるコムギ生産への影響（SSP3-7.0 シナリオ、2091-2100 年の平均子実収量のオゾン影響有無間差分の割合）

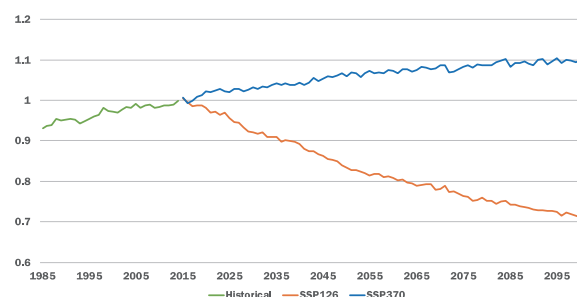


図4. 対流圏オゾン濃度の全球平均値（2014 年を 1 とした場合の比：過去（緑）、SSP1-2.6（オレンジ）、SSP3-7.0（青））

見込め、負の値であれば収量が減少する。SSP1-2.6 ではヨーロッパを中心に増加が見込まれる地域が多く、ウクライナからロシアに広がる穀倉地

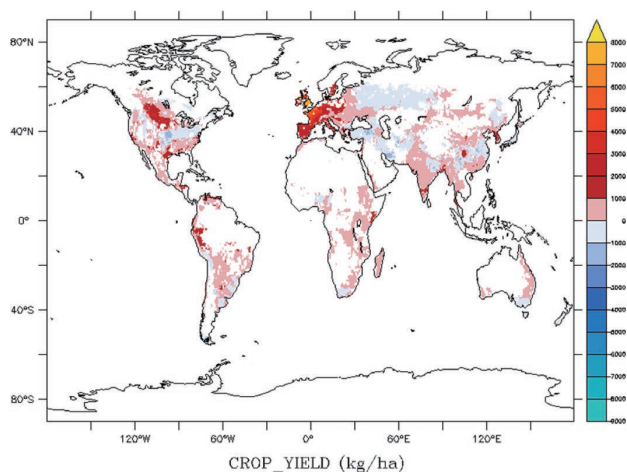


図5. 将来予測における単位面積当たり収量変化（SSP1-2.6; 2091-2100 年平均值から 2016-2025 年平均值の差分）

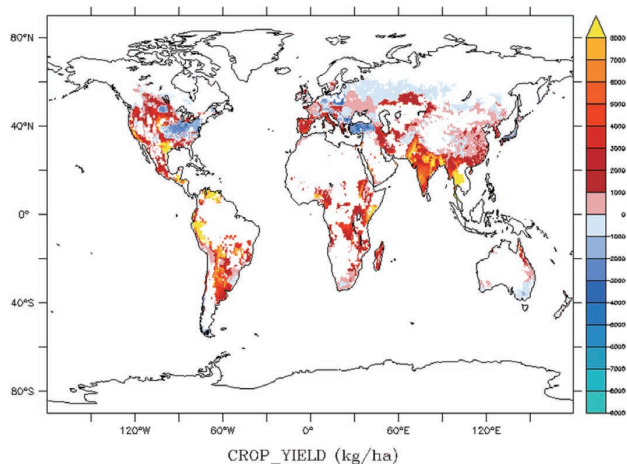


図6. 将来予測における単位面積当たり収量変化（SSP3-7.0; 2091-2100 年平均值から 2016-2025 年平均值の差分）

帯では減少の予測となる。SSP3-7.0においてはインドや南アメリカで SSP1-2.6 よりも顕著に増加が見込まれる地域が増えている。

3. 結論

プロセスベースモデル MATCRO-Wheat による結果を分析すると、対流圏オゾン濃度を考慮した際直近の予測では2-3%程度の収量の減少が確認された。しかしより長期的な予測では両シナリオにおいてオゾンの影響が小さくなった。国別では中国やインドといった今後更なる発展が見込まれる地域でオゾン濃度増加の影響による収量減少幅

が大きく気候変動対策を取る必要があると言えるだろう。また SSP3-7.0 ではオゾン濃度が増加していく予測にもかかわらずオゾンの影響が小さくなっておりその妥当性に関して今後検討していく必要がある。

4. 発表（研究成果の発表）

なし