

光化学オキシダント植物影響評価検討会
第2回

(令和4年7月4日開催)

環境省水・大気環境局

光化学オキシダント植物影響評価検討会 第2回 会議録

1. 日 時 令和4年7月4日(月) 14:00～15:48

2. 場 所 Web会議

3. 出席者

(座 長) 伊豆田 猛
(委 員) 青野 光子 黄瀬 佳之 玉置 雅紀
山口 真弘 米倉 哲志 渡辺 誠
(事務局) 松浦環境省水・大気環境局総務課課長補佐
平山環境省水・大気環境局総務課担当
吉本環境省水・大気環境局大気環境課 環境専門調査員
(オブザーバー) 新田 裕史

4. 議 題

- (1) 第1回検討会に係る報告事項
- (2) 光化学オキシダントの化学組成、生成機構について
- (3) 光化学オキシダントの植物影響に係る検討の範囲について
- (4) 植物におけるオゾンの影響とその応答機構等について

5. 配付資料一覧

光化学オキシダント植物影響評価検討会 委員名簿

- 資料 1-1 諸外国における光化学オキシダントの環境基準等の設定状況(第1回
検討会資料修正版)
- 資料 1-2 第1回検討会における質疑応答について
- 資料 2 光化学オキシダントの化学組成、生成機構について
- 資料 3 光化学オキシダントの植物影響に係る検討の範囲について
- 資料 4-1 植物影響の曝露指標と植物影響を評価するための曝露方法
- 資料 4-2 植物に対するオゾンの影響(概説)
- 資料 4-3 植物に対するオゾンの応答機構

参考資料 1 光化学オキシダント植物影響評価検討会（第 1 回）議事録

参考資料 2 検討の進め方について（第 1 回検討会資料）

6. 議 事

【松浦課長補佐】 定刻となりましたので、ただいまより第 2 回光化学オキシダント植物影響評価検討会を開催いたします。

事務局を務めさせていただきます、環境省水・大気環境局総務課の松浦でございます。本日は、どうぞよろしくお願いたします。

本日は、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から、ウェブ会議での開催とさせていただきます。会議中、音声聞き取りにくい等、不具合がございましたら、事務局までお電話、またはウェブ会議のチャット機能にてお知らせください。

なお、本日の会議は公開で実施させていただいており、環境省公式動画チャンネルのサブチャンネルにてライブ配信を行っております。

ウェブ会議の開催に当たりまして、通信環境の負荷低減の観点から、ライブカメラの映像はオフとし、音声のみの中継といたしますので、あらかじめご了承ください。そのため、委員の皆様におかれましては、原則、カメラ機能はオフにさせていただきますよう、お願いたします。また、議事中、座長及び発言者以外はマイク機能をミュートに設定させていただきますので、ご承知おきいただければと存じます。ご発言の際は挙手ボタン等は使用せず、直接お話をいただきますよう、お願いたします。また、議事録作成の関係上、まずお名前を言っていただき、座長からお名前をお呼びした方からご発言をお願いしたいと思います。

そうしましたら、カメラ映像はここまでとし、これ以降は音声と資料映像のみとさせていただきます。

続きまして、資料の確認でございます。事前にメールでご案内しておりましたとおり、本日の検討会資料は議事次第のほか、資料 1-1、資料 1-2、資料 2、資料 3、資料 4 のシリーズとして資料 4-1、4-2、4-3、それから参考資料 1 と 2 となっております。

なお、本日は事務局が画面上に資料を掲載し進行させていただきますので、ご案内の資料につきましては必要に応じ、お手元でご参照いただきますようお願いいたします。

なお、当初は第 2 回検討会におきまして、諸外国における植物影響等に係る環境基準の設定方法に関する内容を議事として取り上げる予定でしたが、諸事情により、第 3 回検討会以降で議事として取り上げさせていただくことにいたしました。

委員の皆様には、事前にご一報させていただいておりましたけれども、どうぞご承知おきいただければと存じます。

それでは、本日の議題に移りたいと思います。

ここからの議事進行につきましては、伊豆田座長をお願いさせていただきます。伊豆田

座長、よろしくお願ひいたします。

【伊豆田座長】 東京農工大学の伊豆田猛です。どうぞよろしくお願ひいたします。

それでは議事に入ります。

議題（1）第 1 回検討会に係る報告事項について、説明を事務局よりお願ひいたします。

【松浦課長補佐】 そうしましたら事務局より、資料 1-1 につきましてご説明いたします。

第 1 回検討会では、諸外国における光化学オキシダントの環境基準等の設定状況という資料を用いて、植物影響からの保護を目的として、諸外国や国際機関で設定されている基準等について、ご紹介いたしました。

資料 1-1 は、その資料の修正版となっております。

2 ページ目をご覧いただければと思いますけれども、2 ページ目の修正につきましては、最新の欧州指令に基づく記載になっていなかったための修正。

3 ページ目の修正は、単純な文言修正。

4 ページ目の修正は、参考文献の追加。

7 ページ目の修正も、単純な文言修正となっております。

なお、2 ページ目の修正につきましては、Long-term objective のところですけれども、文のつながりがおかしくなっておりますので、正しくは「Long-term objective とは、」で、「この目的は」というところを削除するのが適切かと思っております。また、改めて修正をさせていただきます。申し訳ございません。

続きまして資料 1-2 についてご説明をいたします。

資料 1-2 では、第 1 回検討会における質疑応答の内容を改めて整理したものになっております。

検討会において適切に回答できなかったものを中心に、幾つか口頭で紹介をさせていただきたいと思っております。

まず 4 番目ですけれども、こちらは、欧米における植物保護のための基準は、感受性の高い種に合わせたのか、幅がある中での中程度のものに合わせたのかといった趣旨のご質問でございました。

回答としましては、米国では樹木苗の相対バイオマス損失や作物の収量損失につきましては複数種の中央値を基に、それから可視障害につきましては全米の森林を対象とした調査から、中程度、重度の可視障害の出現が増加する曝露量を基に検討を行っております。

欧州では、十分なデータがある植物種のうち、最も感受性が高い植物種を用いて導入された WHO の欧州委員会大気質ガイドライン第 2 版で示された複数のガイドライン値の中から、中程度の値に基づき基準を設定しております。

続きまして、5 番ですけれども、こちらは各国の基準値につきましてフィードバックはどうなっているのか。特に UNECE のクリティカルレベルは、植物種ごとに低下率が記載されているが、その実際の測定値とコムギの収量などのデータを突き合わせたようなフィー

ドバックは行われているのかといったご質問でございました。

本件につきましては、明確な回答は難しいのですが、UNECE はクリティカルレベルの導出に際しまして、「実行可能な限り環境条件下での観察を用いてクリティカルレベルをテストした」というふうにしております。

続きまして9番の、モニタリングに関するご質問ですが、①の国内の山間部にモニタリング地点はどれくらいあるのかにつきましては、環境省において網羅的に把握はできていないというご回答になります。

なお、地方公共団体の測定局は、大気汚染による人の健康の保護及び生活環境の保全の見地から設置場所が選定されており、住宅地等への設置が主となっております。

続きまして②の、今後どのようなモニタリング等を進めていくのかのビジョンにつきましては、環境省のほうでは、光化学オキシダントについての総合的な取組に係る政策パッケージをまとめた光化学オキシダント対策ワーキングプランというものを公表しております。今後はこのワーキングプランに基づいてモニタリング体制の在り方に関する検討も進めていきたいというふうに考えております。

③の諸外国における達成状況の評価やモニタリング状況についてですが、米国については、ほとんどの地域が基準を達成しているようです。欧州では2018年にTarget valueを超過した局が44%、Long-term objectiveを超過した局は82%などというふうになっております。

最後、12番ですが、カナダのように何年か後を見据えて段階的に基準を下げていくという方法など、その基準の在り方について、本検討会からも提案すべきかのご質問に対しては、本検討会では植物影響が認められる曝露量の範囲に関する知見の取りまとめを行い、その基準の在り方等については、中央環境審議会等で検討予定というふうにしております。

資料1-1及び1-2の説明につきましては、以上となります。

【伊豆田座長】 資料1-1、資料1-2のご説明、ありがとうございました。

ただいまの説明について、ご意見、ご質問があればよろしく願いいたします。よろしいでしょうか。

特にないようですので、よろしいでしょうか。

それでは、議題(2)に移りたいと思います。よろしく願いいたします。

続いて議題(2)光化学オキシダントの化学組成、生成機構について、説明を事務局よりお願いいたします。

【松浦課長補佐】 そうしましたら、続きまして資料2につきまして、ご説明いたします。

こちらの資料では、これからの整理検討の背景となる基礎的な情報として、光化学オキシダントの化学組成、生成機構について説明をさせていただきたいと思います。

まず、4行目1.のところをご覧ください。

光化学オキシダントとは、オゾン、パーオキシアセチルナイトレート（PAN）等のパーオキシアシルナイトレート、アルデヒド類のことであり、その大部分がオゾンであります。これらは大気中の揮発性有機化合物、いわゆる VOC と窒素酸化物の混合系に太陽光（特に紫外線）が照射されることにより反応して生成されます。

日本における光化学オキシダントの環境基準設定に際しましては、オゾン、PAN 及びその他の光化学反応により生成される酸化性物質であって、中性ヨウ化カリウム溶液からヨウ素を遊離するもののうち、二酸化窒素を除いた物質というものを「光化学オキシダント」と定義をしております。

窒素酸化物等に係る環境基準についての専門委員会報告においては、光化学オキシダントの大部分はオゾンであるというふうにしております。

続きまして、2. になりますけれども、ここではオゾン及び PAN の生成機構に関する説明を記載しております。

まず、オゾンについてですけれども、2 ページ目の図 1 をご覧ください。

こちらはオゾンの生成機構を示したものになりますけれども、(a) のところに示しているとおり、オゾン (O_3) は、二酸化窒素 (NO_2) が太陽光の照射を受けたことによる光分解で生成をした原子状酸素 (O)、それから酸素 (O_2) が反応することで生成されますが、この反応は可逆反応になっております。

しかし、(b) に示すとおり、図中では RH としている揮発性有機化合物 (VOC) が共存しますと、ヒドロキシラジカル (OH) により開始される連鎖反応により、アルキルパーオキシラジカル (ROO) が一酸化窒素 (NO) を不可逆的に酸化するために、オゾンの生成が加速することになります。

続きまして (c) をご覧ください。(c) の上半分は (b) の図と同じになっております。ここからは、(c) の下半分の部分を見ていただければと思います。

(b) のところで説明をさせていただいたように、ヒドロキシラジカル (OH) と反応した VOC は、酸素 (O_2) や一酸化窒素 (NO) との反応で、形態を変えながら最終的にヒドロキシラジカル (OH) を再生することになります。このようにして、次の VOC とヒドロキシラジカル (OH) が反応するための連鎖反応サイクルが形成されることになります。

このように、オゾン生成サイクルの駆動には、VOC 及び一酸化窒素や二酸化窒素などの NO_x 、さらには VOC と最初に反応するヒドロキシラジカルの生成に必要な光エネルギーの存在というものが重要になりますので、オゾンの発生は VOC や NO_x の放出量が多い大都市圏において生じやすく、また、その発生は夏季に多いということになります。

2 ページ目の 1~3 行目になりますけれども、光エネルギーのない夜間には、先ほどの図 (a) に示す酸素と二酸化窒素が反応して、一酸化窒素とオゾンが生成されるプロセスの逆反応によって、オゾンが消失をいたします。

また、一酸化窒素濃度が高いほど消失速度は大きくなりますので、夜間のオゾン濃度は、

一般的に都市中心部のほうが郊外部より低くなる傾向があります。

続きまして、2 ページ目の 13 行目、PAN の生成機構について、ご説明いたします。

再度、図 1 の(c)を、少しだけご覧いただければと思います。

この連鎖反応サイクルの中でアルキルパーオキシラジカル (ROO) が生じます。それを踏まえた上で、いま一度、図 2 をご覧いただければと思いますけれども、このアルキルパーオキシラジカルは一酸化窒素、それから三酸化窒素、アルキルパーオキシラジカルと反応をしてアルコキシラジカル (RO) を生成をし、さらに分解反応によりアルデヒド等を生成をします。

生成したアルデヒドは、酸素、ヒドロキシラジカル等と反応し、さらに二酸化窒素との反応により、PAN 等のパーオキシアシルナイトレートを生成することになります。

このように、オゾンも PAN も二酸化窒素と VOC を原因物質とする点は共通なのですが、その他、両者の関係性につきまして、互いが互いの生成の促進に寄与し得る点につきまして、3 ページ目の 5~10 行目に記載しておりますけれども、詳細な説明は割愛させていただきます。

また、2.3. 生物起源揮発性有機化合物の国内排出量の項では、光化学オキシダントの重要な原因物質である VOC には、人為起源のものと生物起源のものがありまして、生物起源のものの代表的な排出源が植物であること、植物由来の VOC の代表的な物質がテルペン類であること等をはじめ、植物由来の VOC の特徴等について簡単に記載をしております。

こちらにつきましても、時間の都合上、説明は割愛をさせていただきます。

資料 2 につきましても、以上となります。

【伊豆田座長】 資料 2 のご説明、ありがとうございます。

それでは、ただいまの説明に対して、ご意見、ご質問があれば、よろしくお願ひいたします。

【渡辺委員】 東京農工大学の渡辺ですけれども、よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 どうぞ。

【渡辺委員】 非常に丁寧な説明をありがとうございます。

お話しいただいた内容に関しては問題ないというか、きちんとされているなと思ったんですけれども、一つ、植物影響を考える上では、都市部から都市郊外であったり、山間部に輸送されていくという視点は持っておいたほうがいいかなと。

つまり、発生源から異なるところでオキシダントの濃度が高くなるということは、植物影響を考える上では重要になってくるので、記載するかしないかは、また別なんですけれども、皆さんご存じのところだと思うんですけど、その部分は確認しておいたほうがいいかと思ひ思います。

【伊豆田座長】 どうもありがとうございます。いかがですか。

【松浦課長補佐】 事務局です。ご指摘ありがとうございます。重要な点についてのご指

摘だと思っております。

この資料の中に実際に記載するかどうかにつきましては、また今後、ご相談をさせていただければと思っておりますけれども、いただいたご意見につきましては、今後の議論を進めていく上で重要な点だと認識をしております。ありがとうございます。

【伊豆田座長】 ほかにございますでしょうか。

【玉置委員】 国立環境研究所の玉置です。よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 どうぞ。

【玉置委員】 今の渡辺先生の発言に関連して、もう一点なんですけれども、今、渡辺先生の話は、国内における移動という話だったと思うんですが、九州地方なんかですと、いわゆる大陸からの越境大気汚染というものもありますので、今後、これを入れるかどうかという話でしたけれども、ぜひ、こういう影響が、国内で発生して国内に影響があるというだけじゃなくて、国外で発生して国内に影響があるということもあり得るので、その辺は記載を今後、できたらお願いしたいなというふうに思います。

以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

【松浦課長補佐】 ありがとうございます。記載につきましては、今後検討させていただきたいと思っております。

また、ぜひ、ご相談をさせていただければと思っております。

ご意見ありがとうございます。

【伊豆田座長】 ほかにございますでしょうか。

【青野委員】 青野ですけれども、よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 青野委員、どうぞ。

【青野委員】 光化学オキシダントのうちオゾンを、今後、ますます減少させていく上で、NO_xとか VOC はコントロールして、人為的なものですから減らしていくということが可能かと思うんですけれども、今後、BVOC も制御して、減らす方向で考えていくというような方向性なのかどうかというのを、お伺いしたいと思いました。

この資料に書くかどうかは、また別問題だと思いますけれども。

よろしく申し上げます。

【松浦課長補佐】 ご指摘ありがとうございます。

この検討会は、あくまで環境基準の設定に向けた検討ということが主題になりますので、そこは粛々と進めていくつもりでおりますけれども、その対策のところにつきましては、また別途、検討をさせていただければというふうに思っております。

すみません。現時点では、このような回答になりますこと、ご容赦いただければと思っております。

【青野委員】 ありがとうございます。

【伊豆田座長】 私から、単純な質問ですが、PAN は植物毒性が高い大気汚染物質なので非常に重要であると思うのですが、現在、日本で PAN の大気濃度を継続的に測定している場所はあるのでしょうか。

【松浦課長補佐】 ご質問ありがとうございます。

継続的に測定している場所というのは、特にございません。

【伊豆田座長】 おそらくないと思っていましたが、今後、植物影響や環境基準に PAN も含めることになると、やはり、どこかで PAN の濃度を測定しなくてはいけなくなるかと思うのですが、これはこの検討会で議論するマターではないかもしれませんが、多分、環境省が今後そういうことを考えていかななくてはいけない可能性もあると思うので、よろしくご検討のほどお願いいたします。

【松浦課長補佐】 環境省、松浦です。コメントいただきありがとうございます。

基本的には、この検討会におきましては、後ほどの議論になろうかと思えますけれども、まずはオゾンを中心に知見の整理を進めつつ、PAN も合わせて整理を進める予定にしております。

この検討会での議論の推移を、もちろん見ながら、その他、関係する部署等々と情報共有、相談もしながら、今ご指摘いただいたようなところは、必要に応じて検討していくものだというふうに、我々としては考えております。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

ほかにございますでしょうか。よろしいでしょうか。

【玉置委員】 国立環境研究所の玉置です。よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 玉置委員、どうぞ。

【玉置委員】 この資料 2 のほうでは、いわゆるオキシダントの生成機構、化学組成の話でしたけれども、原因材料となる、いわゆる NO_x ですね、窒素酸化物が、我が国は多分、大分減っていると思うんですが、こういう現状がどうなっているかというのも、データとしては出していただけると、より分かりやすいかなと思います。

もし、ほかにまとめるような別資料があるとしたら、こういうものもまとめていただくと、より参考になるかなと思います。

以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。いかがでしょうか。

【松浦課長補佐】 ありがとうございます。重要なご指摘だと思っております。

繰り返しになるところはありますが、この検討会は、あくまで基準値の設定に関する検討に資する科学的知見を整理していくというところを主としておりますので、私としては、この検討会の中の資料で、そういった情報をまとめるというよりは、今回取りまとめたいただいた知見を踏まえて、別途検討をして進めていく中で、そういった情報を取りまとめていくのが適切ではないかなというふうに、現時点では考えております。

【玉置委員】 分かりました。別途というのは、ほかの委員会という意味でしょうか。

【松浦課長補佐】 すみません、聞き取れなかったので、もう一度、お願いします。

【玉置委員】 別途取りまとめをする必要があるというのは、ここの委員会ではなくて、ほかの委員会ということでしょうか。

【松浦課長補佐】 そうですね。別の、例えばですけれども、中央環境審議会の専門委員会等の際に取りまとめるのが適当ではないかなというふうに思っております。

【玉置委員】 承知しました。分かりました。

【松浦課長補佐】 重要なお指摘、ありがとうございます。

【伊豆田座長】 ほかにございますでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、続きまして、議題(3)に移ります。

議題(3)は光化学オキシダントの植物影響に係る検討の範囲についてということで、ご説明を事務局よりお願いいたします。

【松浦課長補佐】 事務局より説明をさせていただきます。

1点、資料2のところで補足がございますので、すみません。

本検討会と並行して進めております健康影響評価検討会におきましても、この資料につきましてはご意見等をいただく予定にしておりますので、今後、また修正等が入る可能性がある旨は、ご承知おきいただければと思います。修正等がありました場合には、改めてこの検討会の中でもご提示させていただきたいと思っております。よろしくお願いいたします。

そうしましたら、資料3につきましてご説明をいたします。

まず、1段落目ですけれども、我が国では、光化学オキシダントに係る環境基準の設定に際しまして、光化学オキシダント、オゾン、パーオキシアセチルナイトレート、その他の光化学反応により生成される酸化性物質（中性ヨウ化カリウム溶液からヨウ素を遊離するものに限り、二酸化窒素を除く）と定義をし、光化学オキシダントを対象として基準を設定しております。

一方、多くの諸外国では、光化学オキシダントの主成分であるオゾンを評価対象とした環境基準が設定をされております。この検討会では、植物影響に係る環境基準等の設定に際して、将来的に評価対象物質に係る議論がなされるということを前提として、オゾンを中心に、オゾンとPANの植物影響に関する科学的知見につきまして、それぞれ検討評価するのが適当ではないかというふうに考えております。

続きまして、14行目からになります。

光化学オキシダントの植物影響に係る研究は、日本を含めて諸外国でなされておりますが、光化学オキシダントの植物影響は、植物種であったり品種により異なるほか、植物の生育環境によっても異なることが知られております。

例えば、植物は高温・乾燥条件下では蒸散による水分損失を防ぐために気孔を閉じるた

めに、気象条件、特に大気湿度や土壌水分含量などが大きく異なる環境では、同じオゾン濃度でも気孔を介した葉のオゾン吸収量というのが異なること等が考えられます。

実際、既に植物影響に係る環境基準等を設定している米国や欧州では、基本的にはその国や地域に生息する植物種を対象とした知見に基づいて、基準を検討しております。

続いて、25 行目以降になりますけれども、以上の点を踏まえまして、本検討会におきましては、光化学オキシダントの植物影響に係る環境基準の設定に資する事項を整理、検討するために、農作物や樹木を中心に、国内に生息する植物種を対象に実施された科学的知見を幅広く整理対象とし、国内知見がない場合には参考として海外知見を整理するのが適当と考えております。

なお、植物種によらず共通すると思われる影響発生メカニズムに関する研究につきましては、基本的には国内外を区別せず整理を進めたいというふうに考えております。

資料 3 の説明につきましては、以上となります。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

それでは、ただいまのご説明に対して、ご意見、ご質問があれば、よろしく願いいたします。

いかがでしょうか。よろしいですか。

この検討会で検討する範囲についてですが、一番最後に書いてあるところに範囲が示されていますが、よろしいでしょうか。

特にご意見はなさそうですか。

それでは、この検討会では、ここに書いてあるような範囲で検討を行う方向でやっていくことにしたいと思います。ありがとうございます。

次ですが、先ほど、議題(3)におきまして、本検討会では光化学オキシダントの成分であるオゾンを中心に、オゾンと PAN の植物影響に関する科学的知見を、それぞれ評価、検討することをご了承いただきました。

つきましては、続いての議題(4)でございますが、植物におけるオゾンの影響とその応答機構等についてとし、まずは、光化学オキシダントの大部分を占めるオゾンについて、知見の整理、検討を進めていきたいと思っております。

まずは、資料 4-1 の説明を、事務局よりお願いいたします。

【松浦課長補佐】 そうしましたら、資料 4-1、植物影響の曝露指標と植物影響を評価するための曝露方法について、ご説明いたします。

オゾンの植物影響を評価する上では、そして、特に定量的評価を行う上では、オゾンの曝露指標や曝露方法というものが重要な要素の一つとなります。

そこで、資料 4-1 では、今後、オゾンの植物影響に関する科学的知見の整理等を行っていく上で基盤となる基礎的な情報として、オゾンの曝露指標やオゾンの曝露方法等について、具体的には 1 ページ目の目次に記載の項目について、ご紹介、ご説明をしたいと思

ます。

それでは 2 ページ目をご覧ください。

まず、植物影響のオゾン曝露指標についてとなります。植物に対するオゾンの影響につきましては、濃度が高く、曝露期間も長いほど、より顕著な影響が発現をします。つまり累積的であるということが知られておりますので、植物影響のオゾン曝露指標としましては、対象期間におけるオゾン濃度の積算値である積算曝露量というのが、一般的に用いられております。

主な積算曝露量としましては、資料の中で三つの黒点を用いて列挙しているものがありまして、いずれも指定された期間に対して、SUM06 につきましては閾値である 0.06ppm を超過したオゾン濃度を積算した値。AOT_x につきましては、特定の閾値を超過したオゾン濃度の閾値超過分を積算した値。W126 は、高濃度のオゾンの重みづけをした上で積算をした値というふうになっております。

なお、ICP Vegetation と呼ばれる国際協力プログラムのように、オゾンの植物影響を、より正確に評価できる指標として、外環境のオゾン濃度の積算ではなくて、気孔を介した葉の積算オゾン吸収量に基づく指標であります POD_y というものを用いている例もございます。

続きまして、2 ページ目の 24 行目をご覧ください。

このオゾンの植物影響の評価方法という項につきましては、主に山口委員にご協力いただき、まとめたものになります。

オゾンの植物への曝露につきましては、遺伝子レベルから個体、生態系のレベルまで、様々なレベルの研究において用いられておりまして、それぞれの研究の目的に応じて曝露方法というのが選択されております。ここでは、日本で採用されてきた方法を中心に、三つの曝露方法について概説したいと思います。

3 ページ目の 6 行目をご覧ください。

まず、植物栽培用の環境調節装置を利用する方法について、ご紹介いたします。

光や気温といった環境要因の変化と、それに対する植物の反応の因果関係を実験的に解析するための植物栽培用の環境調節装置としましては、温度や湿度、それから対象の大気汚染物質の濃度を制御することができて、人工光を利用して光の強さ、あるいは日長まで制御できるような人工光型グロースキャビネット、あるいは、ガラス張りの構造で野外に設置することで自然光を利用する自然光型ファイトトロンなどがございます。

人工光型グロースキャビネットは図 1 に、自然光型ファイトトロンを図 2 にお示しをしております。

3 ページ目の 13~16 行目に記載しておりますとおり、人工光型グロースキャビネットにつきましては再現性のある環境を得ることができると、これを用いたオゾン曝露というのは、植物のオゾン被害の発現メカニズムの解明や、オゾン耐性に関わる遺伝子を見

いだすための遺伝学的なスクリーニングなど、主に分子生物学等の分野での研究に用いられることが多いです。

続いて、4 ページの 5 行目以降に移ります。

人工光型グロースキャビネットについては、先ほど申し上げたように再現性のある環境という点で強みを有する反面、その電磁スペクトルが太陽光とは異なる、あるいは植物と光源との距離によって、植物に届く光の強度が異なる等の課題もありますので、光条件がより自然環境に近い自然光型ファイトトロンを、植物の成長や光合成に対する長期影響といった個体レベルでのオゾンの影響の評価に用いることもございます。

4 ページ目の 16 行目以降に記載のとおり、自然光型ファイトトロンを用いて大気汚染物質を含む外気をそのまま導入する、あるいは活性炭フィルター等によって汚染物質を除去した大気を導入することによって、現地における大気汚染が植物に与える影響を評価可能な空気浄化法といったような手法もございます。

続いて、2.2. フィールドチャンバーの利用の項をご覧ください。

2.1 で紹介をした、植物栽培用の環境調節装置につきましては、温度や湿度は厳密に制御されるものの、植物の生育環境は野外の環境とは全く異なることとなります。そこで、野外環境により近い生育環境で、オゾン影響を評価する手法としてオープントップチャンバー、以降 OTC と呼ばせていただきますけれども、そういったものが開発をされました。

OTC の写真につきましては、6 ページの図 3 にお示しをしております。

OTC は、その天蓋部が開放された小型のチャンバーとなっておりまして、その下部に設置された送風ファンによってチャンバー内に外気が導入され、上部の開放部に向かって吹き抜けるような構造を持っています。そのため野外に設置した場合、OTC 内の温度や湿度は外気のそれらに連動して、野外環境により近い生育環境というふうになります。

先に紹介をしたファイトトロンと比較して、さらに製作費やランニングコストも安価であって、設置場所の制約も少ないという特徴もございます。

OTC 内のオゾン濃度は、活性炭フィルター等を用いて低く抑えることや、逆に、送風ファンの近くでオゾンガスを放出することで高くすることも可能なので、OTC を用いることでオゾン濃度を変えたときの植物の成長応答や収量応答を定量的に評価することができることとなります。

欧米では、OTC を用いてコムギやインゲン、大豆などの主要な作物を対象に、それらの収量とオゾン濃度、もしくはオゾンの積算曝露量との関係を調べたようなプロジェクトも、過去に実施されております。

日本におきましても、水田でイネにオゾン曝露するためのフィールドチャンバーであったり、樹木を対象とした、こちら図 4 に示すようなグリーンハウス型、あるいはガラス温室型のフィールドチャンバーなども開発されて、オゾンに対する成長応答や収量応答の定量的評価等に用いられております。

最後に、オゾン曝露方法として、2.3.開放系曝露システムについて、ご紹介いたします。

2.1 で紹介をしたファイトトロンと比べますと、OTC での生育環境は野外環境に近いといえますが、例えば、オゾンの濃度勾配や、囲いとなるガラスやフィルム等による遮光等、6 ページの 16 行目から 19 行目辺りに記載をしております、いわゆるチャンバー効果というものによって、チャンバー実験で得られたオゾン濃度、もしくは積算曝露量と成長や収量との関係が、野外環境のそれらとは異なるという懸念がございます。

ここで7ページの図5をご覧ください。

そうした状況の中、CO₂、二酸化炭素曝露研究において、OTC にあるような囲いとか送風ファンのない状態で高濃度の CO₂ を曝露する FACE システムというものが確立をされました。FACE とは、Free-air CO₂ enrichment の略になります。

これは、曝露対象となる植物群落の周囲に CO₂ 放出用のチューブやパイプを設置し、それらの中央部で風向と風速を観測し、コンピューター制御によって風上側のチューブから CO₂ を放出して、群落全体を覆う大気中の CO₂ 濃度を均一に上昇させるというシステムになります。

このシステムは、オゾン曝露にも応用されまして、日本を含め世界各地において、FACE 型のオゾン曝露システムが構築をされ、農作物や樹木などに対し利用されております。

一方で、FACE 型オゾン曝露システムには、風速が弱いときなどは放出口周辺などに高濃度オゾンの気塊が形成され、その周辺の植物の被害が顕著になる点、あるいは、大規模なオゾン発生装置や高度な制御システムを要する点などにも課題があり、当該システムの普及が進まない要因ともなっております。

米国 EPA によれば、OTC のチャンバー効果はオゾン吸収量を変化させる可能性はあるものの、オゾンに対する植物の応答を本質的に変化させるものではないというふうにしており、そのため OTC は、引き続きオゾンに対する植物の成長や収量の応答を定量的に評価する有用な手法であると考えられるとしております。

2.4 では、オゾン濃度の制御におけるオゾンの日内変動に関する記載がなされておりますけれども、こちらの説明につきましては割愛をさせていただきたいと思っております。

資料 4-1 の説明は以上となります。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

それでは、まず、この資料 4-1 の作成にもご協力をいただきました山口委員から、もし、補足等があればお願いいたします。

【山口委員】 長崎大学の山口です。ご説明、ありがとうございます。

補足といいますかコメントですけれども、本検討会で環境基準の設定などの議論に際して、オゾンのリスク評価に利用されるデータが必要になると思うんですけれども、ご説明ありましたとおり、野外環境に最も近い FACE 実験で得られたデータが、ふさわしいはふさわしいんですけれども、あまり普及が進んでいないという点でデータも限られておりま

すので、やはり、これまで膨大なデータが得られている OTC などのフィールドチャンバーでの実験のデータが、欧米でも利用されていますし、恐らく本検討会でも、それに基づいた議論になるのかなと思っておりませんが、また、この辺りは、委員の皆様のご意見をいただければと思っております。

加えて、その FACE 実験で得られたデータと、OTC 実験で得られたデータのオゾンに対する成長応答、収量応答、そういった比較検証を将来的にやっていく必要があるかなというふうに考えています。

冒頭にご説明がありました人工光型グロースキャビネットについては、野外環境とは、かなりかけ離れていますけれども、オゾンの障害発現メカニズムの解明ですとか、耐性遺伝子の発見等、分子生物学の分野で、まだまだ利用されるものかなというふうに考えております。

補足といいますかコメントです。以上です。

【伊豆田座長】 山口委員、ありがとうございました。

それでは、委員の皆様から、ご意見、ご質問等があれば、よろしく願いいたします。

【玉置委員】 国立環境研究所の玉置です。よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 玉置委員、どうぞ。

【玉置委員】 今の FACE、OTC も含めてオゾン関係の施設だと思うんですが、今回の検討会では PAN もターゲットに入れていくというお話でしたけれども、PAN のこういう曝露チャンバーって国内にあるんでしょうか。チャンバーとか、オープントップでもいいですけども。

【伊豆田座長】 私がお答えいたしましょうか。

【玉置委員】 お願いします。

【伊豆田座長】 私が知っている限りでは、現在はないと思います。

ただ、私が学生だった頃ですから、30 年以上前ですが、東京都環境科学研究所に PAN を曝露できる曝露チャンバーがありました。ただ、その後、なくなったと聞きましたので、今はおそらくないと思われます。

よろしいでしょうか。

【玉置委員】 そうすると、PAN に関しては、近年のデータは、国内のデータは出てこないという状況だろうということですね。

【伊豆田座長】 おっしゃるとおりで、ここ数十年は PAN の植物影響に関する国内のデータは出てきておりません。

【玉置委員】 分かりました。ありがとうございます。

【伊豆田座長】 ほかに、ご質問、ご意見、ございますでしょうか。

【黄瀬委員】 山梨大の黄瀬です。よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 黄瀬委員、どうぞ。

【黄瀬委員】 FACE が自然に近いので適しているということで、ただ、いろいろ問題があるので OTC 等を使った実験を今後もやっていくことが重要という、それは間違いないと思うんですけども、海外のデータ等で FACE 実験と OTC 実験で、例えばオゾンの影響が違うだとか何かそういうデータが、もう少しあるとよいのかなという気もいたしました。

以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

比べるのはなかなか難しいと思いますけど、確かにそういう検討も必要だと思います。

【渡辺委員】 東京農工大学の渡辺ですけれども、今の件について少し情報があるので、よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 渡辺委員、お願いいたします。

【渡辺委員】 ありがとうございます。

ドイツで行われている FACE 型のオゾン曝露実験でやられている結果で、オープントップチャンバーとか、そういった曝露方法と、大ざっぱな感じではあるんですけども成長低下というものを比較したという、私はそのプレゼンテーション、学会発表を聞いただけなんですけれども、それだと、大体同じくらいのレンジには、そのときは入ったというような結果でした。

ただし、その成長低下のメカニズムは、いろいろと異なるというような表現をされていたので、別の条件になると違う成長低下を引き起こすという可能性は、まだ残されてはいるのかなと。

取りあえずは、一回やってみたところ、似たような低下だというようなことになるかなというふうに思います。

フィンランドとか、そちらのほうもデータがあるんじゃないかなと思うんですけど、そこら辺に関しては、すみません、今、覚えていないので以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

今のお話は、多分ブナですかね。ブナの話ですか。

【渡辺委員】 ヨーロッパブナの。成木林の研究ですね。

【伊豆田座長】 そうですね。フィンランドでは、もしかしたら、シラカンバなどでやっているかもしれないということですね。

【渡辺委員】 そうですね。

【伊豆田座長】 了解しました。

【渡辺委員】 もう一点、よろしいですか。

【伊豆田座長】 どうぞ。

【渡辺委員】 今の話で、ドイツの場合は、いわゆる成木の、森林に対する FACE 型のオゾン曝露実験だったんですけども、ちょっと出てきたフィンランドのほうは、苗木を使った実験です。

オープントップチャンバーの場合は、基本的には、ほとんどの場合、樹木に関しては苗木ということなので、ここで今、ちょうど画面に出していただいているのもそうですけど、それに対して日本というのは、5m ぐらいの施設までに、今のところ終わっているというのが現状かなというふうに思いますので、今回の、例えばこれから、恐らくオープントップチャンバーなどの苗木を対象とした実験の結果を、いろいろと解析することになるのかなというふうには思うんですけども、それと、例えば FACE の結果と比べることが出てくるとは思いますけれども、それでもやはり、まだ十分な森林にはなっていないということは、今後、考慮する必要があるかなというふうに思います。

長くなりましたけど、以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。よろしいですか。

【山口委員】 長崎大学の山口です。よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 どうぞ、山口委員。

【山口委員】 今、渡辺委員から樹木のほうのお話がありましたけど、農作物のほうでも、中国の Feng らが、2018 年に OTC と FACE の農作物へのオゾン影響の比較をしまして、作物種によって違うみたいですけども、FACE のほうが感受性が高かった、というような結果も出ているみたいです。

以上、情報提供です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。それは、イネですか、コムギですか。

【山口委員】 イネとコムギとダイズですね。

【伊豆田座長】 イネ、コムギ、ダイズですか。分かりました。ありがとうございます。

ほかに、ご意見、コメント、もしくは質問等はございませんでしょうか。

ございませんか。ないようですので、次の議題に移ろうと思います。ありがとうございます。

それでは、続きまして資料 4-2 の説明を、事務局よりお願いいたします。

【松浦課長補佐】 そうしましたら、続きまして資料 4-2、植物に対するオゾンの影響（概説）につきまして、ご説明をさせていただきます。

本資料は、主に伊豆田座長にご協力いただき、まとめたものになります。

第 3 回以降、次回以降の検討会では、主に農作物や樹木に対するオゾンの影響に関する知見の整理等を行っていく予定にしておりますけれども、まず、資料 4-2 では、農作物や樹木に共通するようなオゾンによる植物生理的影響や事象について、紹介をしたいと思います。

まず、1. はじめにのほうの図 1 をご覧ください。

大気中のオゾンは、気孔を介して葉内に吸収をされ、植物の様々な生理機能に影響を及ぼします。一般に、オゾンの植物影響には急性影響と慢性影響があります。

急性影響とは、比較的高濃度のオゾンが数時間から数日といった、比較的短期間にわた

って曝露された植物に発現する影響でありまして、葉面に可視障害が発現したり、光合成を行うために光エネルギーを吸収する色素であるクロロフィルの濃度低下などが引き起こされます。

また、慢性影響とは、比較的低濃度のオゾンが数週間から数年という、比較的長期間にわたって曝露された植物に発現する影響であり、光合成の阻害や成長低下などが引き起こされます。

ここでは、このようなオゾンの植物影響について概説したいと思います。

2 ページ目でございます、2. 気孔を介した葉のオゾン吸収の項について、ご説明いたします。

次のページの図 2 をご覧ください。図 2 は、葉の断面図を示しております、上側が向軸面、つまり葉の表面、下側が背軸面、つまり葉の裏側を示しております。光合成の際の二酸化炭素や、蒸散の際の水蒸気の通り道となりますが、同時に大気から葉内へのオゾンの通り道でもあります。つまり、大気中のオゾンは、農作物や樹木の葉の背軸面にある気孔から葉内へ侵入し、光合成などの生理機能に悪影響を及ぼします。

続きまして、3. オゾンによる葉面可視障害の発現についてですけれども、4 ページの図 3 に写真で示しておりますような、葉の可視障害の発現というのは、農作物や樹木が比較的高濃度のオゾンに曝露された際に認められる影響の一つとなっています。

このオゾンによる可視障害は、成熟葉や比較的古い葉で生じやすく、主に葉の向軸面、表の面に発現をし、その症状は、農作物の種類によって異なります。例えば、ハツカダイコンやハウレンソウなどの草本植物では、葉脈間に微小な白色の斑点や漂白斑というものが生じますけれども、イネやマメ科植物の葉では、褐色または赤褐色の斑点が生じます。

また、葉の可視障害の程度に基づいた農作物のオゾン感受性というものは、作物種や品種によって異なることが、様々なこれまでの研究から示されています。

続きまして、4 ページの 4. 葉の生理機能に対するオゾンの影響ですけれども、まず、4.1. 活性酸素種と活性酸素消去系について、ご説明いたします。

少し戻りますけれども、改めて図 2 をご覧いただければと思います。

大気から気孔を介して葉内に吸収されたオゾンというのは、細胞外空間の水溶液、いわゆるアポプラスト溶液に溶解込んで、活性酸素種、いわゆる ROS を生成します。ROS とは反応性の高い酸素種の総称で、スーパーオキシド、過酸化水素、ヒドロキシラジカルなどがあり、生体内で酸化剤として作用し、様々な悪影響を及ぼすことが知られています。

5 ページの図 4 をご覧ください。詳細は割愛いたしますけれども、ROS は通常、図 4 に示しているような還元型のアスコルビン酸やグルタチオンといった活性酸素消去系の抗酸化物質であったり、スーパーオキシドジスムターゼ、あるいはカタラーゼといったような抗酸化酵素によって、ある程度、消去されますけれども、消去されなかったオゾンによる活性酸素種の蓄積によって、クロロフィルなどの色素の分解、タンパク質の分解、膜脂質

の過酸化による分解、DNA の開裂など、様々な障害を引き起こすことが報告をされています。

続いて 6 ページ、4.2. 光合成をご覧ください。

オゾンには、葉緑体における光合成機能を阻害することが知られておりまして、オゾンに曝露された植物で観察される初期反応として、純光合成速度の低下というものがあります。日本で栽培されている農作物であるトウモロコシ、インゲンマメ、イネ、ハツカダイコン、コマツナ、コムギなど、それから、また日本の森林を構成している樹木であるブナ、ミズナラ、カラマツなどで、オゾンによる純光合成速度の低下が報告されています。

オゾンによる光合成低下の要因の一つとして、気孔の開き具合、すなわち気孔開度の変化があります。また、オゾンによる葉におけるクロロフィル濃度や、Rubisco の含量や活性の低下が、多くの植物で認められています。

さらに、気孔付近の葉内細胞間隙から葉緑体までの CO₂ の拡散抵抗の逆数である葉肉コンダクタンスというものが、オゾンによって低下することも報告されています。

7 ページの 29 行目からは、オゾンが光合成の窒素利用効率、つまり葉の窒素濃度当たりの純光合成速度を低下させ、吸収した養分の利用効率を低下させるということも報告されているといった点などについて、言及しております。

続いて 8 ページ、4.3. 気孔に対するオゾンの影響について、ご説明いたします。

詳細は割愛させていただきますけれども、この項では、オゾンが気孔制御の効率を低下させ、気孔の閉鎖と気孔応答の鈍化というものを引き起こすこと、そして、オゾンによる気孔応答の鈍化には二つのタイプ、すなわち気孔閉鎖が十分なレベルに達しないようなタイプと、気孔の開閉速度が遅いタイプというものがあること等について記載をしております。

続きまして、4.4、9 ページ目下段のほうになりますけれども、4.4. 呼吸の項をご覧ください。

一般にオゾンは、葉の暗呼吸速度、つまり光合成が停止する暗黒状態で測定される呼吸速度を低下させると考えられておりますけれども、日本の森林樹木においては、オゾンによって葉の暗呼吸速度が低下するという報告だけではなく、例えばブナやミズナラの苗木において、オゾンによって暗呼吸速度が上昇する例というものも報告されており、実験によって異なる結果が出ております。

これらの葉の暗呼吸速度に対するオゾンの影響の違いにおけるメカニズムというのは、現時点では不明ですけれども、オゾンによる葉の組織の損傷の程度やオゾン障害からの修復過程などが関わっている可能性があるというふうに考えられます。

続きまして、5. その他のオゾンの植物影響の項をご覧ください。

こちらにも詳細は割愛させていただきますけれども、5.1 では、葉のターンオーバー、すなわち新旧の葉が入れ替わりつつ、個体全体でバランスを保つ動的平衡状態にオゾンが影

響を与えること。5.2 では、オゾンが植物の地上部と地下部の炭素分配に影響すること。それから 5.3 では、オゾンが植物のフェノロジー、すなわち気温や日照などの季節に応じた植物の変化に影響を及ぼすこと等に関する現状の科学的知見等について、記載をしております。

最後に、6.まとめをご覧ください。

これまで述べましたとおり、この資料 4-2 では、大気中のオゾンが農作物や樹木の葉の表面、主に背軸面になりますけれども、に存在する気孔を介して葉内に吸収をされ、主に葉の表面の可視障害の発現、葉の細胞内での活性酸素種の生成、それから光合成や呼吸などの生理機能、窒素代謝、炭素分配などへの影響、そういった様々な影響を与え、最終的に農作物の乾物成長や収量、樹木の乾物成長を低下させることについて、概説をいたしました。

資料 4-2 の説明は、以上となります。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

この資料 4-2 の作成には、私、伊豆田も関わらせていただきましたので、少し補足をさせていただきます。

先ほどもありましたように、図 1 に示しましたように、気孔というのは葉の表面にあるのですが、主に葉の背軸面、裏側に存在します。葉の向軸面、すなわち葉の表側には気孔が存在しない植物もあります。また、図 4 に示したように、葉には活性酸素消去系という代謝系があるのですが、この系は活性酸素消去系の酵素とアスコルビン酸やグルタチオンのような抗酸化物質でできています。

気孔から吸収されたオゾンによって葉内に大量に発生した活性酸素は、植物に様々な悪影響を及ぼしますが、この活性酸素消去系によって活性酸素が水や酸素のような無害なものに変えられて、無毒化されます。

植物におけるオゾン障害の程度は、今、お話しした気孔を介した葉のオゾン吸収量や葉内における活性酸素の消去能力に強く関係していると言われておりますので、この気孔と活性酸素消去系の活性というのは、オゾン害の程度を決定する際に重要な役割をしております。

補足は以上です。

それでは、ただいまの説明に対して、ご意見、ご質問等があれば、よろしく願いいたします。

【青野委員】 青野ですけれども。

【伊豆田座長】 青野委員、どうぞ。

【青野委員】 国立環境研究所の青野です。

一つ質問させていただきたいんですけれども、葉肉コンダクタンスが出てきたんですが、葉肉コンダクタンスの制御要因というのは、どういうものがあるのか。例えば気孔コンダ

クタンスは、気孔が閉鎖していけば低下していくというのがあると思うんですけれども、葉肉コンダクタンスの場合の制御要因を教えてくださいました。

【伊豆田座長】 これに関しては、最近、論文を出した渡辺委員からご説明していただいた方がいいですね。

【渡辺委員】 東京農工大学の渡辺です。

紹介していただいた論文で書いたんですけれども、CO₂の細胞間隙、葉の中の空間から葉緑体までの通りやすさ、CO₂の通りやすさである葉肉コンダクタンスは、そのプロセスがたくさんあるので、全てのプロセスが分かっているわけではないと思うんですけれども、一つは拡散で動くんですけれども、それ以外に、細胞膜のところいわゆるアクアポリン、水を積極的に能動的に輸送するチャネルと呼ばれるものであるアクアポリンと同じように、CO₂を輸送するチャネルがあるというふうに言われていますというか、そういうことが明らかになっています。

そのアクアポリンが活性化、活性化という表現が適切か分かりませんが、アクティブになったりそうじゃなかったりということで、CO₂の通りやすさを制御するという、比較的植物側が能動的に動かせる機構があるというふうに考えられています。

これぐらいでよろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

青野委員、よろしいでしょうか。

【青野委員】 ありがとうございます。どうもありがとうございました。

【伊豆田座長】 それでは、ほかにご質問、ご意見等ございますでしょうか。いかがでしょうか。よろしいですか。

それでは、特にないようですので、次の説明に移りたいと思います。

続きまして、資料4-3の説明を事務局よりお願いいたします。

【松浦課長補佐】 そうしましたら、続きまして、資料4-3について、ご説明いたします。

本資料は、主に青野先生、玉置先生にご協力いただき、まとめたものになります。本資料では、植物におけるオゾンの応答機構として、急性影響、慢性影響の影響発生メカニズムについて、主にまとめたものになっております。

まず、1.はじめにをご覧ください。

2 ページの内容は、これまでに言及したと重複するところもございますので、省略をさせていただき、3 ページ目冒頭をご覧ください。

オゾン障害発生に関する植物の生理的な応答につきましては、分子生物学の進展により、遺伝子レベルでの解明も進んでおります。ここでは、植物のオゾン応答の分子メカニズムについて、主にシロイヌナズナやイネといったモデル植物に関し、国内外の近年の知見を急性影響、慢性影響それぞれの観点から紹介をしたいと思います。

まずは、急性影響のほうでは、オゾン流入の制御、抗酸化機構によるオゾンの解毒、プ

プログラム細胞死による障害発現機構、光呼吸の関与について、順にご説明をさせていただきます。

まず、2.1、オゾン流入の制御からになりますけれども、こちらについては図 2 をご覧いただきながら聞いていただければと思います。

こちらは、二つの気孔を模式的に表したものでありまして、左右に分かれて記載されているのが一对の孔辺細胞と呼ばれる細胞になっています。オゾンは気孔を通して葉内に入るため、気孔開閉の制御というものは、オゾンの侵入を防ぐ第一段階の防御機構というふうになります。この気孔の開閉は、気孔を構成する孔辺細胞の膨張と収縮によって引き起こされまして、この過程は孔辺細胞へのイオンやその他の物質の蓄積、流出等によって調節されております。

オゾン誘導性の急速な気孔閉鎖モデルとしては、次のようなモデルが考えられています。まず、オゾンにより生じた ROS が特定のイオンなどを選択的に通す膜タンパク質の一種であるカルシウムイオンチャネルを活性化することで、細胞内にカルシウムイオンが流入をし、細胞内カルシウムイオン濃度が増加をします。

続いて、タンパク質分子にリン酸基を付加する酵素であるタンパク質キナーゼの一種 (OST1) タンパク質やその他のカルシウム依存性タンパク質キナーゼによって、細胞膜に局在をし、陰イオンの細胞外への排出を担う SLAC1 と呼ばれる膜タンパク質が活性化をされ、大量の塩素イオンが細胞外に流出し、その結果、膜電位がプラス方向に変化をします。

その結果、カリウムイオンの放出に働く外向きのカリウムイオンチャネルが活性化をされ、孔辺細胞の膨圧が減少して、気孔が閉じるというふうと考えられております。

続いて、5 ページ、2.2、抗酸化機構によるオゾンの解毒をご覧ください。

資料 4-2 でも言及いたしましたけれども、オゾンは細胞膜外の細胞間隙の気相空間や細胞壁のある液相空間であるアポプラストに侵入後、液相に溶け込んだり種々の有機物と反応することにより ROS が生成をします。したがって、オゾンから生成されたアポプラスト内の ROS の解毒は、オゾンに対する第 2 段階の防御機構というふうになります。

アポプラスト内の ROS 消去において主要な役割を果たす細胞は、細胞壁液相内の抗酸化物質であるアスコルビン酸であるということが、アスコルビン酸の合成能力は低下したシロイヌナズナ突然変異体や、あるいは ROS の消去において機能したアスコルビン酸をリサイクルするために必要な遺伝子を持たない変異体等を用いた研究などから示唆されております。

また、21 行目から記載のとおり、細胞壁中のアスコルビン酸によって、植物に侵入したオゾンの一部が消去されるものの、消去されずに残ったオゾンや ROS が細胞膜などにダメージを与えることも示唆されております。消去されなかった ROS は、次の 2.3、プログラム細胞死による可視障害発現機構のほうで説明をするプログラム細胞死を誘導するとともに、脂質やタンパク質などを直接酸化し、生体物質に障害をもたらすと考えられていま

す。

2.3の32行目辺りをご覧ください。

急性オゾン曝露された植物で観察される葉の可視障害は、こうしたオゾン誘導性のプログラム細胞死により起こっていると考えられています。このオゾン誘導性のプログラム細胞死は、オゾンやその分配で生じたスーパーオキシドや過酸化水素などのROSが主に細胞膜上のNADPH酸化酵素の活性化によってさらなるROSの急速な発生を誘導するということにより生じると考えられています。この現象をオキシダティブバーストというふうに言います。

こうしたオゾン誘導性のプログラム細胞死などのオゾンに曝露した植物における応答では、2.3.2、エチレン等のシグナル因子の関与にありますように、ROSやその他様々なシグナル物質の作用によって多くの遺伝子の発現や代謝産物の量というものが変化をし、成長モードからストレス防御態勢へのシフトが起こるといふふうに考えられています。

図3には、オゾンによる細胞死誘導機構のモデルというものを示しています。オゾン曝露によってエチレンやサリチル酸、ジャスモン酸といったような植物ホルモンが誘導され、それらが細胞死に対して促進的あるいは抑制的に作用しているなど、ストレス関連ホルモン等のシグナル物質が植物のオゾン応答に関与していることが近年次々に明らかになってきています。

8ページ目、19行目の光呼吸の関与をご覧ください。

最近解析されたシロイヌナズナのオゾン感受性変異体の原因遺伝子が光呼吸系酵素をコードしていることが分かりました。光呼吸とは、強光下において光合成の電子伝達系により生成されるエネルギー物質、すなわちNADPHとATPを消費し、過剰に蓄積しないようにするものですが、光呼吸系変異体ではこの機能が失われて、これらのエネルギー物質が過剰蓄積する結果、光合成電子伝達の流れが悪くなり、電子が酸素に受け渡されて、活性酸素が多く発生するというふうに予想されます。

そうした研究の結果から推察されるモデルを図4に示しておりまして、強光下の葉緑体内におけるROS生成とオゾンによるアポプラストにおけるROS生成が同時に起こると、細胞死というものが強く誘導され、葉の可視障害が生じるという仮説を図示したものとなっております。

続きまして、ここからはオゾンの慢性影響として生育・収量への影響、それから品質への影響について、ご紹介したいと思います。

まず、9ページの3.1、生育・収量への影響という項をご覧ください。

可視障害が生じないような比較的低濃度のオゾンであっても、植物が長期間曝露された場合、その成長や収量は低下することが知られています。一般に、オゾンは葉緑体における光合成機能を阻害することによって、植物の成長や収量を低下させるというふうにされておりまして、特にCO₂固定を担うRubiscoの蓄積量や活性の低下というものが大きな要

因であるというふうに考えられております。

また、アスコルビン酸合成酵素の一つが機能しないイネ変異体を長期的にオゾンに曝露すると、その生育や収量というのが野生型よりも有意に低下することから、慢性影響の発現にも可視障害の発現と同様に、ROS が関与しているというふうに考えられています。

一方で、オゾンによる可視障害の発現と収量低下が独立したメカニズムによって制御されている場合もあるということを示唆するような報告もなされています。

慢性的なオゾン曝露により認められる成長速度や収量などの形質については、一般に複数の遺伝子というものが関与している等の理由のために、これまで分子機構の解明というのは非常に困難でありました。ただ、近年は、次世代シーケンサの普及により、急速に用いられるようになってきたゲノムワイドアソシエーション解析など、DNA マーカー解析手法の飛躍的な発展によってオゾンによるイネの収量低下に関与する遺伝子の同定は進みつつあります。しかし、それでもまだ未解明の要因というのは多く残っているというのが現状となっています。

続きまして、3.2、品質への影響をご覧ください。

オゾンにより葉に生じる可視障害というのは、葉物野菜の品質低下の原因となることが知られていましたけれども、近年、オゾンが米の品質にも悪影響を及ぼすということが明らかになってきています。具体的には、オゾンによる玄米中のタンパク質の増加であったり、デンプンの低下、図7のdとかeに示すように、白濁した米の増加などが報告されています。

オゾンによる米の白濁増加の原因としては、オゾン曝露による葉の炭水化物生産能力が低下し、米のデンプンを合成する糖が穂に十分輸送されないこと、あるいはデンプン合成そのものが阻害されることなどが示唆されています。

最後に、4.まとめでございませけれども、ここまで資料4-3におきましては、植物のオゾン応答の分子メカニズムについて急性影響と慢性影響に分けて概説をいたしました。急性影響の発現は、ROS 生成と密接に関連をし、そのメカニズムについて多くの知見が得られています。一方で、慢性影響に関しても、ROS がシグナル伝達などに関与していると考えられますけれども、そのメカニズムの多くはまだ解明をされておらず、ゲノムワイドな遺伝学的解析など、新しい解析技術の利用などによって、植物のオゾン応答の分子メカニズムの解明が進むことが期待をされております。

資料4-3の説明につきましては、以上となります。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

それでは、まずはただいまの説明について、資料の作成にもご協力いただきました青野委員と玉置委員から、補足等があればお願いいたします。

【青野委員】 そうしましたら、急性影響、2.のところについて、補足させていただいてよろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 お願いいたします。

【青野委員】 青野です。

ご説明どうもありがとうございました。非常に細々と書き込んでしまったんですけれども、分かりやすくまとめていただいたと思います。

それで、補足的なコメントをさせていただきますと、ここでいう急性影響といったときのオゾン濃度というのは、大体 100ppb から 300ppb ぐらいで、実験の場合は 200ppb ぐらいの濃度を使うことが多いかというふうに思います。

それから、時間のスケールですけれども、気孔の閉鎖のところでご紹介いただいたのが数秒以内に起きてくるカルシウムチャネルの活性化というのがありましたけれども、実際にこの写真、例えば図 1 の下のほうの枯れているシロイヌナズナなんか、こういうのが見えてくるのは、細胞死が白く、組織が白くなっているという形で見えるんですけど、こういうのが見えるのは大体オゾン曝露があった翌日ぐらいのことです。写真で撮ると翌日ぐらいに白くはっきり見えてくるんですけれども、目で見ると、細胞が水に浸されたようになって、死んでいるなというふうに分かるのが数時間後ぐらいのタイムスケールでございます。

あと、活性酸素、ROS というのがよく出てきましたけれども、オゾンで ROS が発生するというのをご紹介いただきました。そもそもオゾンというのは植物の長い進化の歴史の中で、最初からあったわけではございませんで、植物というのは酸素と光を利用して光合成を行っているんですが、その中で光合成の副産物として ROS が出てくるということがあって、酸素も光も実は植物にとっては毒なので、副産物の ROS、特に毒性の高いものを消去する機能というのを進化の歴史の中で獲得してきており、それが環境ストレスに対する植物のもともとの機能であって、それがオゾン、今日のオゾン大気汚染ガスが来たときの防御機構として働いているということになるかと思います。

もともとのストレスというのは、今言った光合成の副産物の ROS ということもありますけれども、乾燥とか低温、それから強い光、それから病虫害というのも植物の受けるストレスなんですけれども、このようなときにも ROS が発生して、そのものが生体物質を傷つけたり、あるいはシグナル物質として働くということがございます。

この前の章で伊豆田先生にご紹介いただいた活性酸素消去系というのがあるって、これが非常に重要だという話がありましたけれども、これは植物の細胞の中に結構満遍なくあるんですね。アポプラストのところではアスコルビン酸があって、活性酸素を消去するという系もありますし、細胞質、膜の中に一步入った細胞質にも活性酸素消去系がありますし、さらに葉緑体の中にも活性酸素消去系が存在していて、何重にも活性酸素を消去しようという機能が植物に備わっているということでございます。

また、途中、今、4-3 のほうでご紹介いただいた植物ホルモンという話がありましたけれども、これも特にご存じとは思いますが、オゾンだけに特化してできているわけ

ではなくて、例えばここでご紹介いただいたエチレンは、植物の老化、傷害ホルモンであったり、果実を熟させるような働きをもともと持っているもので、それがオゾンによる傷害、傷がついたことによってわっと出て、そのために細胞死がオゾンで起きてくるというようなメカニズムがあります。

私からはそんなところですか。ありがとうございました。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。玉置委員、何かコメントはございますでしょうか。

【玉置委員】 国立環境研究所の玉置です。

私のほうからは、資料 4-3 の 9 ページ、3. の慢性影響のところについて報告したいと思います。

まず、こちらの 3.1 の生育・収量への影響を書いた意図としましては、基本的には今、青野委員とか伊豆田委員から説明があったように、植物へのオゾンの影響というのは、基本的には光合成が低下して、生育とか収量にエネルギーが行かなくなって、これが低下してしまう、生育も悪くなってしまふ、収量も下がるというのが一般的なメカニズムで、これが多分主な原因だろうというのは間違いないと思います。

ただ、14 行目以降ですね、この 9 ページの。一方、イネの 20 品種を用いたというところなんだけれども、いろんな品種のイネを使った実験がありまして、これを見ると、必ずしも見た目の障害、可視障害が出るからといって収量が低下しないというのもありまして、逆もありますね、見た目では全く障害が出ていないのに収量が落ちるといふものもありまして、後者、見た目は全く障害が出ていないのに収量が落ちるといふものが、イネの中でも我々が食べているいわゆるジャポニカの品種というよりは、インディカ品種という、長粒米というのですけれども、長い米ですね、この系統に非常に多く見られたということで、日本ではあまり作られていないんですが、インディカ米は、最近ですと、タチユタカのようなジャポニカ米、いわゆる日本の古来の米とインディカ米を掛け合わせたハイブリッド米というのが作られておりますので、無視はできないだろうということで、この辺を書かせていただきました。

どういう影響が出たかといいますと、あまり細かいことを言ってもしょうがないんですが、分かりやすいのを言うと、図 5 ですね、11 ページの図 5 辺り。これが一つの例ですけども、これはハバタキというイネの品種ですけど、これはいわゆるインディカが入っているもので、オゾンをかけると右側の b の写真のように、穂の枝分かれが非常に減ってしまふと収量が下がると。これは必ずしも可視障害とは関係ないというような例があるので、こういう収量の低下もあるんだなというのは、特殊な例かもしれませんが、あると覚えておいていただきたいなと思って書きました。

あとは、事務局からの説明もありましたように、イネの収量を構成する遺伝子的な要素というのは非常に多くて、今回、さらにオゾンでどれが影響を受けるかというのが分から

ない、遺伝的に見つけるのは非常に大変だったんですが、最近、11 ページの 7 行目辺りにあるように、いわゆる次世代シーケンサ、今、ハイスループットシーケンサと呼んでいますけれども、これの普及によって、どういう遺伝子がどういうふうに変化するかというのは、非常に早く分かるようになりました。なので、今後の期待としましては、分子メカニズムになりますけれども、オゾンによって、光合成に依存的ではない収量低下がどう起きるのかというのがしっかりと分かってくるんじゃないかなということで、期待したような文章を書かせていただきました。

これが 3.1 でした、3.2、12 ページにあるように、必ずしも作物といった場合は、収量だけじゃなくて、品質というのも大事でした、特に米なんか、葉の可視障害の場合ですと、葉を食べるようなシソですとかハウレンソウなんかは可視障害そのものが問題になるんですが、米に関しましても、実は葉を食べるわけではないんですが、幾つか品質への影響がオゾンによって低下するのが分かりましたというのをここに書いておまして、具体的に細かい説明はしませんけれども、13 ページの図の 7 にありますように、日本の代表的な品種のコシヒカリですけれども、a、b、c、がオゾンがない場合、a が米全体、b が米の断面、c がいわゆる電子顕微鏡の断面で、d、e、f がオゾン曝露した場合ですけれども、明らかに d、e、f のオゾン曝露した場合に、米が白っぽくなる乳白色米というんですけれども、こういうものが非常にたくさん米の中に占めるようになってしまうと。これになるとどうなるかといいますと、米というのは一等米、二等米、三等米というふうに、こういう白い、汚いとか見た目が悪い米がたくさん含まれれば含まれるほど等級が下がるんですが、こういうことによって農家の収入が減るということもあり得て、オゾン曝露が農家収入に影響してくるといふことのメカニズムもありまして、必ずしも収量が減るから減収するというよりは、等級が変わることによる影響というのものもあるということをご書かせていただきまして、実際に米以外ではまだまだ品質への影響というのはちゃんと調べられていないんですが、ほかの野菜とかこういうものにもオゾン曝露された場合、例えば栄養素、ビタミンですとかこういうものの変化もあり得るでしょうし、植物が毒物をつくる可能性もありまして、この辺を調べていったほうがいいんじゃないかという、実験からの提言ということで紹介させていただきました。

以上で、私のほうの説明になります。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

それでは、そのほか、委員の皆様からご意見、ご質問があれば、よろしく願いいたします。ご質問等ございませんでしょうか。

私、伊豆田から一つお聞きしたいのですが、先ほど活性酸素消去系の話がありましたが、アポプラスト溶液中にアスコルビン酸があるというのは、随分前からよく知られていることですが、活性酸化消去系の酵素、例えば SOD のような酵素はアポプラスト溶液中にあるかないかというのはよく分かっていないという話を 10 年ぐらい前に聞きましたが、その

後、この辺の研究は進んだのでしょうか。青野委員、ご存じですか。

【青野委員】 その後進んだかどうかというのは実はよく知らないです。酵素としては、SOD はよく分からないんですけども、APX、アスコルビン酸ペルオキシダーゼはあるということが知られていたと思います。

【伊豆田座長】 分かりました。ありがとうございます。

【玉置委員】 玉置から報告よろしいでしょうか。

今の件に関して、APX もアポプラストにはあると同時に、アスコルビン酸も再生系の遺伝子、いわゆるモノデヒドロアスコルビン酸レダクターゼとかこの辺もあるというのは知見として。

【伊豆田座長】 そうですか。

【玉置委員】 あるようです。

【伊豆田座長】 以前はオゾンによってアポプラストで酸化されたアスコルビン酸は、シンプラストで還元されて還元型アスコルビン酸がアポプラストに戻ってくるという話を聞いたことがあるのですが、アポプラストの中で酸化されたアスコルビン酸が還元されることはあるのでしょうか。

【玉置委員】 私からいいでしょうか。玉置です。

本当に酵素が働いているかどうかまではちゃんと分かっていないので、あるというだけが証明されているだけなので、働いているかどうかの検証はされていなかったと思うんですね。

なので、現時点ではこれがこの場所で還元というか元に戻っているのかというのは分かっていないと思います。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

ほかにご質問、ご意見等ございますでしょうか。よろしいですか。

それでは、伊豆田から、もう一つ質問があるのですが、先ほどオゾンの植物影響の程度は気孔からのオゾン吸収量と活性酸素消去能力に非常に関わっているという話をしました。また、先ほど、オゾンによってカルシウムチャネルの活性化が起きて気孔が閉じるという話があり、これはオゾンの植物影響の程度が決まる際に非常に重要な現象であると思うのですが、オゾンがどうしてカルシウムチャネルを活性化するのか、どういうメカニズムで活性化するかということは分かっているのでしょうか。これは、青野委員ですか、玉置委員でしょうか。

【青野委員】 直接私のほうでこれを研究しているというわけではないんですけども、オゾンがやってきたときに、ROS の一種の過酸化水素になっていくんですね。その過酸化水素によって、このカルシウムチャネルが活性化されるということが知られています。

ですので、膜の外側にチャネルがあって、そこに過酸化水素がやってきてくっつくことというのは最初の引き金というふうに考えられています。

【伊豆田座長】 そうすると、孔辺細胞の中にも活性酸素消去系みたいなものがあるということなのでしょうか。

【青野委員】 活性酸素の消去系が孔辺細胞の中にもあると思うんですけども、そこで消去するというよりは、これは防御的に活性酸素があるときにカルシウムチャンネルが活性化していて、やがて気孔が閉じるという反応を引き起こすというか、引き金になっているということだと思いますね。なので、消去系そのものとは直接は関係ないというか独立したメカニズムだと思います。

【伊豆田座長】 分かりました。ありがとうございました。

【玉置委員】 玉置から補足ですけども、元の実験はたばこの培養細胞を使ってカルシウムが発生すると光るような仕組みを作った、遺伝子組換えのたばこで培養細胞を使うと、オゾンをおくおくやると、カルシウムが出てくるというのが大元になっている。

【伊豆田座長】 オゾンのバブリングですか。

【玉置委員】 バブリングだと思います。この書かれている図には、いろんな実験の知見を重ね合わせているので、一気通貫にこれが全部分かっているわけじゃなくて、ワンステップごとに実験があるみたいなのを、研究があるので、そういうことですね。

【伊豆田座長】 分かりました。ありがとうございます。

ほかにご意見、ご質問等ございませんでしょうか。

【渡辺委員】 東京農工大学の渡辺です。よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 どうぞ、渡辺委員。

【渡辺委員】 今のここの図のところで質問なんですけれども、オゾンが ROS を生成させて気孔を閉じるという防御反応がある。けれども、もともとはそれは進化のタイミングから考えれば、オゾンに対する防御ではなかったという、補足説明のほうにあったと思うんですけども、この ROS というのは、ここでいうところの細胞の外の ROS というのは、どこから来る ROS なんですとかというのが 1 点目と、もう一つは細胞内で孔辺細胞にある葉緑体からも活性酸素が多分出るだろうと思うんですけども、それと何か違いがあるのか、その辺り、分かる範囲があれば、教えていただきたいんですけども。

【伊豆田座長】 いかがでしょうか。

【青野委員】 細かいところは分からないので、後で玉置さんに補足があったら補足してもらいたいんですけども、最初のどこから来るのかというのは、いろんなストレスがあったときに酸素が細胞に溶けて、抗酸化能が弱くなったようなときに ROS が出てきてしまうというのがあるというふうに言われています。

あと外から来るものとしては、虫に噛まれたり病原体に感染したときに、やっぱり活性酸素が出てくるというのがあるというふうに言われています。ただ、最初の ROS がどういふところから来るかというものの細かいところは、今はっきりは分からないんですけども、乾燥したようなときも ROS が出てくるということは言われています。

あと何でしたっけ、葉緑体内の ROS。

【渡辺委員】 孔辺細胞の葉緑体からも出るだろうというところで。

【青野委員】 ただ、最初のカルシウムチャンネルで見ると、多分膜の外側にこの ROS の結合部位があるのかなと思うので、中の ROS がどのぐらい関与しているかというのは、はっきり分かりません。すみません。何か玉置さんから補足がありましたら。

【玉置委員】 一つ目の渡辺委員からの質問ですけれども、もともと青野委員からもあったように、オゾンに対して植物が反応する系を進化させたとはとても思えないので、もともとあった系が動いているということがまず前提となります。元のあった系って何だというと、恐らく先ほど青野委員からあったように、病原菌感染ですとか、あるいは虫によるかむ害、こういうもので NADPH オキシダーゼという、細胞外に実はあるんですけれども、細胞外にあることで活性酸素をばんばん作っていくというのが病原菌感染で働くのが分かっておりますので、ここがスタートラインになって、あとはオゾンだろうが病原菌感染だろうが同じ系が動いてしまうというところです。私の知る限りでは。スタートラインは、だから、病原菌に対する感染応答のためにこの系が働いている。これをオゾンはたまたま同じ経路をたどってしまっているというのがこの答えになると思います。

【渡辺委員】 渡辺です。

ありがとうございました。葉肉細胞から来ると遠いかなと思っていたので、細胞外でそういう発生系があるということが分かったので、よく理解できました。ありがとうございました。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

ほかにご質問、ご意見はございませんでしょうか。よろしいでしょうか。

【松浦課長補佐】 すみません、環境省の松浦ですけれども、教えていただきたいことがございます。

先ほど、オゾンによる米の白濁化のお話があったかと思いますが、近年、地球温暖化によっても、こういったようなことが起こるというのをよく耳にします。地球温暖化、要は温度が上がることによって起こるような白濁とオゾンによって起こるような白濁は、何か質的に違いがあったりするものでしょうか。もし、ご存じでしたら教えていただければ幸いです。

【玉置委員】 これは国立環境研究所の玉置からお答えさせていただきます。

今、松浦様から質問があったように、確かにイネが米の登熟過程で気温が急に上がると、お盆過ぎ辺りに急に気温が上がると、同じような白濁化が起きるといった現象が知られています。これは地球温暖化に伴って懸念されている事項なんですけど、オゾンの今、見ている白濁化と、地球温暖化、急激な気温上昇による白濁化が一緒かと言われると、米の流通業界からしてみれば一緒です。要は駄目な米と一くくりで言えるんですけど、もっと細かいことを言ってしまうとメカニズム的には全く違う現象でして、もちろん説明がめちゃくちゃ

細かくなるんですが、デンプンというのもアミロペクチンとペクチンとかいろいろな種類があるんですが、この組成の変わり方がオゾンによって白濁が来る場合と、気温上昇によって白濁化する場合、は全く違う起き方をしていますので、途中のプロセスは変わります。ただ、結果として売り物にならないという意味では一緒というのが答えになります。

これで大丈夫でしょうか。

【松浦課長補佐】 ありがとうございます。もう一個、この白濁化によって、外観品質の低下が起きるといってお話をいただいたかと思うのですが、味は特に変わらないんでしょうか。見た目の問題という理解でよろしいのでしょうか。

【玉置委員】 味も多分今の図7のbとeを比べていただけたら分かります、充填率が変わるんですね。cとfが分かりやすいかな。cとfは電子顕微鏡の写真なんですけど、表面の。オゾンに限らないですけど、オゾンと温暖化が起きると充填率が、隙間が結構多くなるんですね。これが白濁の原因なんですけれども、となると味は私、正直、炊いてしまうとどうなるか分からないのですが、とにかくこれは市場で買ったたかれるくず米ということにされてしまうので、間違いなく農家の収入にマイナスになる。

味に関しては、分からない人は分からないと思うんですけど、これがそもそも米として出回らずにお菓子用とかそういうところに回されてしまうので、多分米としては食べられていないと思います。ここまで白くなってしまうと。というのが現状です。

【松浦課長補佐】 分かりました。ありがとうございます。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。米倉委員、米の味に対するオゾンの影響に関する研究はありますか。

【米倉委員】 米倉です。

ないです。

【伊豆田座長】 ないですよ、たしか。

【米倉委員】 それと、多分、私、玉置委員のこの文献をまだちゃんと持っていないんですけども、基本的に多分先ほどのご質問の味に関しては、確実に変わると思います。特にアミロースの濃度が変わるということがここに示されていますので、アミロースって結構味等に非常に大きな影響を及ぼすので、この時点で味は変わると思います。

そして、玉置委員が言ったように、基本的にもうこの米は、我々のところにはなかなか流通するレベルの米ではないというところで、なかなか目につきにくいところにはなるというふうに思います。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

【玉置委員】 ちなみに、すみません、この論文には書いていないんですけども、一応食べて味を見る官能試験はやっておりませんが、機械による米の粘性ですとかこういう試験は、炊いたときの粘性とかの試験はこのオゾン米でやったことがありまして、あんまり差はなかったんで論文にはできなかったんです。だから、食べてはいないけど、機

械的に測れる部分としては、あんまり変わらなかったというのが裏話としてはあります。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

それでは、ほかにご意見、ご質問はございませんでしょうか。よろしいですか。

それでは、質疑も出尽くしたようですので、本日の議題は以上となりますが、全体を通してのご意見、ご指摘がございましたら、お願いいたします。何かございませんでしょうか。よろしいですか。

それでは、ないようですので、進行を事務局にお返しいたしますので、連絡事項等があればお願いいたします。

【松浦課長補佐】 伊豆田座長、ありがとうございました。

本日は活発なご議論をいただきまして、誠にありがとうございました。本日の議事録につきましては、事務局のほうで案を作成しまして、委員の皆様にご確認をいただいた後に、ホームページで公表させていただく予定ですので、ご協力のほど、よろしくお願いいたします。

次回の第3回検討会につきましては、議事として農作物に対するオゾンの影響に関する科学的知見に基づく定量的評価などを予定しております。開催時期としては、8月から9月頃を予定しておりますけれども、具体的な日程等につきましては、また後日、事務局のほうで調整の後、ご連絡をさせていただきたいと思っております。

そうしましたら、以上をもちまして、本日の検討会を終了いたします。どうもありがとうございました。