

光化学オキシダント植物影響評価検討会
第3回

(令和4年9月21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3回 会議録

1. 日 時 令和4年9月21日（水）14:00～15:54

2. 開催方式 対面とオンラインのハイブリッド開催

3. 出席者

（座 長） 伊豆田 猛

（委 員） 青野 光子 黄瀬 佳之 山口 真弘

米倉 哲志 渡辺 誠

（オブザーバー） 新田 裕史

（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・大気環境局総務課環境基準係

4. 議 題

（1）第2回検討会に係る報告事項

（2）光化学オキシダントの大気環境中濃度について

（3）日本の農作物へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理について

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 光化学オキシダントの化学組成、生成機構について（第2回検討会資料修正版）

資料 2 光化学オキシダントの大気中濃度について

資料 2 別添 令和2年度 大気汚染物質（有害大気汚染物質等を除く）に係る常時監視測定結果

資料 3-1 日本の農作物へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理（案）

資料 3-2 【補足資料】日本の農作物へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理（パワーポイント）

参考資料 1 光化学オキシダント植物影響評価検討会（第2回）議事録

参考資料 2 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（第2回検討会資料）

参考資料 3 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（第2回検

討会資料)

参考資料 4 植物に対するオゾンの影響 (概説) (第 2 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 3 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の感染拡大防止の観点から、対面とオンラインのハイブリッド会議での開催とさせていただきます。オンラインでご参加の先生方におかれましては、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いただければと思います。

なお、本日の会議は公開で実施させていただきます、光化学オキシダント健康・植物影響評価検討会ライブ配信チャンネルにてライブ配信を行っております。

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、マイク機能は座長及び発言者以外は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。

なお、玉置委員におかれましては、ご都合によりご欠席とのご連絡をいただいております。

続きまして、本日の資料の及び議題の確認をさせていただきます。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、資料 2、資料 2 別添、資料 3-1、資料 3-2、参考資料 1~4 となっております。

本日の議題 1 では、前回の検討会の際にお示した光化学オキシダントの化学組成、生成機構について、第 3 回健康影響評価検討会を経まして、若干修正を加えておりますので、その修正版をお示ししております。

議題 2 では、前回検討会の光化学オキシダントの化学組成、生成機構に引き続きまして、本検討会で植物影響に係る科学的知見の整理・検討を進める上で背景となる基礎的な情報をご紹介する趣旨で、資料 2 を用いまして光化学オキシダントの大気環境中濃度についてご紹介させていただきたいと思っております。

続きまして、議題 3 では、オゾンによる農作物への影響に関する科学的知見の整理につ

いてご審議をいただきたいと思ひます。

本日の資料及び議題の確認は以上となります。

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。

それでは、本日の議題に移ります。

ここからの議事進行につきましては、伊豆田座長に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】 皆さん、こんにちは。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 2 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】 資料 1 についてご説明させていただきます。

資料 1「光化学オキシダントの化学組成、生成機構について」、をご覧ください。

こちらの資料につきましては、前回第 2 回検討会にてご提示させていただきましたが、その後、本検討会と並行して進めさせていただいております健康影響評価検討会におきましてもご確認をいただき、その過程で修正がございましたので、修正箇所を赤字とした上で、修正版を改めて提示させていただいております。

修正内容としましては、基本的に軽微なものでして、1 ページ目の 15～16 行目の部分は 9 行目にも同様の記載があることから、削除しております。その他ヒドロキシラジカルの記載ぶりを修正しております。

資料 1 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。

ただいまの説明についてご意見、ご質問があれば、よろしくお願ひいたします。よろしいでしょうか。特にご質問はないでしょうか。

それでは、ご質問等がないようですので、議題 2 に移りたいと思ひます。

続きまして議題 2、光化学オキシダントの大気環境中濃度について、説明を事務局よりお願ひいたします。

【松浦課長補佐】 続きまして、資料 2 につきましてご説明させていただきたいと思ひます。

こちらの資料では、光化学オキシダントの環境基準、測定方法、大気環境中濃度等につきまして、簡単にはございませんけれども、紹介させていただきます。

まず、めくっていただいて 1 ポツをご覧ください。この項では、日本における光化学オキシダントの環境基準に関する情報を概説しております。2 行目からの段落では、日本の環境基準は、環境基本法第 16 条第 1 項におきまして、「人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準」とされていること、環境基準が「維持

されることが望ましい基準」であり、行政上の政策目標であること、「生活環境」とは、「人の生活に密接な関係のある財産並びに人の生活に密接な関係のある動植物及びその生育環境を含む」とされていることに言及をしております。

11 行目からの段落では、光化学オキシダントの環境基準について記載しております。まず、光化学オキシダントの定義ですけれども、「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。）をいう」とされております。

光化学オキシダントの環境基準は、昭和 48 年に「1 時間値が 0.06ppm 以下であること。」と定められております。16～19 行目には、光化学オキシダントに係る環境基準の評価方法について記載がされておりますけれども、こちらにつきましては 2 ポツのほうで改めて言及いたします。

20 行目からは、環境基準の評価方法とは別に、光化学オキシダントの環境改善効果を示すための指標として、「光化学オキシダント濃度 8 時間値の日最高の年間 99 パーセントイル値の 3 年平均値」という指標の活用が提案されていること等に言及しています。

また、26 行目からは、光化学オキシダントを含めた大気汚染状況の監視が大気汚染防止法第 22 条に基づき、都道府県等が設置する大気汚染常時監視測定局において行われていること、また、同法の第 23 条及び同法施行令第 11 条に基づき、「注意報」等の基準となる濃度が規定されており、現行、「注意報」の基準は 0.12ppm とされていること等に言及しています。

続きまして、3 ページ「2. 光化学オキシダントの測定方法」をご覧ください。光化学オキシダントの測定方法につきましては、表 1 にまとめておりますように、中性ヨウ化カリウム溶液を用いる吸光度法や電量法、紫外線吸収法、エチレンを用いる化学発光法のいずれかの方法で測定することが告示で定められております。

PAN につきましては、7 行目より記載しておりますけれども、環境大気常時監視マニュアルなどで定められた測定方法はないものの、電子捕獲型検出器（ECD）付きのガスクロマトグラフを用いた調査研究報告等がございます。

13 行目の 3 ポツからは光化学オキシダント及び知見は少ないですけれども、PAN の大気環境中濃度について概説をしております。具体的には、濃度の経年変化、年内推移、日内変化等についてお示ししております。

まず、光化学オキシダントについてまとめております 3.1、16 行目からをご覧ください。光化学オキシダント濃度の経年変化は、毎年、大気汚染物質に係る常時監視測定結果としまして、環境省の水・大気環境局大気環境課より公表されております。令和 4 年 8 月現在の最新の結果は、本資料の別添であります環境省水・大気環境局大気環境課 2022「令和 2 年度 大気汚染物質（有害大気汚染物質等を除く）に係る常時監視測定結果」に記載されております。

ここでは4ページの1行目から記載しておりますとおり、令和2年度においても、環境基準達成局は依然として極めて低い水準であること、昼間の日最高1時間値の年平均値はほぼ横ばいで推移していること、昼間の1時間値の濃度レベル別割合については大部分が0.06ppm以下であること等について、別添を用いてご紹介したいと思います。

それでは、資料2別添をご覧ください。こちらは令和2年度の常時監視測定結果をまとめたものになっております。光化学オキシダントにつきましては、9ページ目から記載されています。以降、一般局と自排局のデータが記載されていますけれども、傾向に大きな違いはありませんので、一般局のもののみを見ながら説明を聞いていただければと思います。まず、図2-1-1の棒グラフをご覧ください。こちらには1時間値の年間最高値が0.06ppm以下、あるいは0.06～0.12ppm未満、0.12ppm以上となった測定局数を年度ごとにまとめたものになっております。いずれの年度につきましても、環境基準0.06ppmを達成した局の数が極めて低い水準となっていることが分かるかと思えます。

続いて、次のページの図2-1-2をご覧ください。こちらでは、昼間の日最高1時間値の年平均値の推移を図示していますが、近年はほぼ横ばいで推移しています。続きまして、その下にございます図2-1-3をご覧ください。こちらのグラフでは1年の中で測定される昼間の1時間値の濃度レベルの割合を図示していますが、大部分が0.06ppm以下である一方、0.06～0.12ppmとなる時間帯が5%程度あることが分かるかと思えます。図2-1-4には、先に少しご紹介をした長期的な改善傾向を評価するための指標の推移を図示しております。

光化学オキシダントの経年変化につきましては、以上となります。

いま一度、資料2のほうにお戻りいただければと思います。

続きまして4ページ7行目、年内変化の項をご覧ください。図1のほうには光化学オキシダントの年内変化に関する一般的な傾向を示す例として、2016～2019年度の一般局における光化学オキシダントの昼間の1時間値の月平均値の推移というものを示しておりますけれども、4月5月辺り並びに8月～10月頃に極大点がありまして、4月5月辺りが最も高い値を示す傾向にあるということが分かるかと思えます。

13行目から記載しておりますけれども、高濃度日の指標として、光化学オキシダント注意報の発令状況というのを見てみますと、年々の変動が大きいものの、5月～8月に発令される事例が多い傾向にございます。行ったり来たりで申し訳ございませんが、こちらは先ほどの別添の表2-2-2に示しております。

そうしましたら、いま一度、本文のほうに戻っていただきまして、続きまして、23行目の日内変化の項をご覧ください。光化学オキシダント濃度の日内変化につきまして、窒素酸化物(NOx)や揮発性有機化合物(VOC)等の発生源がある地域と発生源のない地域では、傾向が異なるため、それぞれ事例を挙げて紹介をしています。まず、6ページに記載の図2をご覧ください。こちらには発生源がある地域の傾

向を示す例として、2009年～2018年度における東京都の光化学オキシダントの1時間値の推移を月ごとに示していますが、季節により濃度差はあるものの、基本的には季節を問わず、光化学オキシダント濃度は早朝から14時～15時まで上昇し、その後、翌日の明け方にかけて下降する傾向が見られるということが分かるかと思えます。

次のページに記載の図3には、発生源のない地域の傾向を示す例として、小笠原における1時間値の推移を月ごとに示していますが、こちらでは先の東京で見られたような日内変動は見られておりません。

なお、光化学オキシダント濃度の日内変化につきましては、地域的に存在する原因物質、季節ごとの越境大気汚染や気象特性にも影響を受けるため、地域や年によって特徴が異なる点に注意が必要でございます。

8ページの図4をご覧ください。こちらの図は、神奈川県丹沢大山国定公園特別保護地区の、上のグラフから、檜洞丸山頂直下の標高1,540m地点、山腹に相当する西丹沢地点及び山麓周辺に相当する神奈川県伊勢原市役所のオゾン濃度の日内変化を季節別に示したのになっております。平地部に相当する伊勢原市役所地点では日中にピークが見られる典型的な山型の日変化パターンが見られるのに対して、山腹にある西丹沢及び山頂直下の檜洞丸地点では、標高が高くなるほど山型の日変化パターンが見られにくくなる傾向にあることが分かるかと思えます。このように同じ地区であっても、標高等によりオゾン濃度の日内変化の傾向が異なるような結果も観察されています。

最後に、PANの大気環境中濃度についてもご紹介したいと思います。

9ページ1行目をご覧ください。データは非常に限られていますけれども、ECD付ガスクロマトグラフ法により東京都内3地点において1972年または1973年の夏にPANの測定を行ったところ、測定期間中の最高濃度は8.2～31.2ppbであったとの報告がございます。また、図5にお示ししているように、東京都千代田区有楽町で1976年4月～1985年2月まで測定したところ、1時間値の最高濃度が10～20ppb前後、年平均値が1ppb前後で推移していたとの報告等がございます。

資料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。

それでは、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お願ひいたします。ご質問等はございませんでしょうか。

【青野委員】 青野ですけれども。

【伊豆田座長】 はい、青野委員、どうぞ。

【青野委員】 国立環境研究所の青野でございます。

ただいまのご説明、ありがとうございます。

資料2の7ページ。小笠原の光化学オキシダントの日内変化があると思うんですけども、これの8月、9月辺りを見ますと、2013年でしょうか、ちょっと高くなっているピー

クがあると思うんです。この 2013 年にオキシダント濃度が小笠原で高かった原因というのが、もし分かれば教えていただければと思ったんですけども、いかがでしょうか。

【伊豆田座長】 いかがでしょうか。

【松浦課長補佐】 ご質問、ありがとうございます。

今、ご指摘いただいた点につきましては、今、回答を持ち合わせておりませんので、検討させていただいた上で、またご回答させていただければと思います。

【青野委員】 よろしく願いいたします。

【伊豆田座長】 ほかにご指摘等は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けれども、よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 渡辺委員、どうぞ。

【渡辺委員】 説明、ありがとうございました。

次のページ、丹沢山系でのオゾン濃度の測定結果が出されているのですが、これは 2004 年、5 年ぐらいですね。これ以外にいわゆる山岳地帯でのオゾンの観測結果とか、そういうものというのはどれぐらいあるものなんでしょうか。

【伊豆田座長】 いかがでしょうか。

【松浦課長補佐】 ご質問いただき、ありがとうございます。

このような事例がどれぐらいあるかにつきましてはの全体像は、把握できていないのが現状でございます。

【渡辺委員】 分かりました。植物影響は特に森林とか、そういった点に関する影響を考える上で、やはり、いわゆるリモートサイトとかのデータというのは重要になるかなと思いますので、ある程度、情報があるようであれば、そういったものを集計されておくといふのかなというふうに思います。

以上です。

【松浦課長補佐】 ご示唆いただきありがとうございます。

【伊豆田座長】 補足でございますが、森林地帯のオゾン濃度のデータは、それほどないことは事実です。ただ、山岳地帯のオゾン濃度に関する論文は、既に幾つか出ております。私も、昔、西丹沢の檜洞丸でブナ林の衰退地における調査をしていたのですが、そのときもオゾン濃度を測定してまして、その一部のデータは既に原著論文として出ております。しかし、全体的には、山岳地帯や森林地帯のオゾン濃度に関する情報は、まだ非常に不足している状態です。

ほかにご質問等は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】 ご説明、ありがとうございました。

私からは資料 2 別添の図 2-1-2 について質問をさせていただきます。光化学オキシダントの

年平均値の推移の図になります。前々から気になっているんですが、これを見ますと、昭和 51 年、52 年が高くて、ここから急激に下がって、また徐々に上がっているんですが、ここが例えば測定器を今までと違うものを使って値が変わっただとか、そういうことが考えられるのか、あるいは社会的に対策を取って濃度が下がったのか、その辺りは何か情報はありますでしょうか。

【松浦課長補佐】 ご質問いただき、ありがとうございます。

申し訳ございません。その点につきましても確認が必要ですので、確認をした上で、また改めてご回答させていただければと思います。

【黄瀬委員】 はい、よろしくお願いします。

ただ、例えば、気温の測定だとかだと、途中から測定する機械を替えたりして、それから値も変わったりとかも指摘されていますので、今のオゾンの測り方がいつから始まったのかとか、その辺りも整理いただけるとよいのかなと思いました。よろしくお願いします。

【伊豆田座長】 ほかにございませんでしょうか。よろしいでしょうか。

今の図ですが、私もいつも思っていたのですが、平成 23 年ぐらいからそれ以前に比べて全体的に濃度が低くなっているように見えますが、これはどうしてかなあとと思います。私も以前、どなたかにこの理由を聞かれましたが、答えられなかったので、一緒に先ほどのご質問に対する回答も含めて検討していただければと思います。よろしいでしょうか。

【松浦課長補佐】 その点につきましても、またご確認をさせていただきたいと思います。

【伊豆田座長】 よろしくお願いいたします。

ほかにございますでしょうか。

なければ、議題 3 に移りたいと思います。

それでは、続いて議題 3 の日本の農作物へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理についてということで、説明を事務局よりお願いいたします。

【松浦課長補佐】 続きまして、資料 3-1 につきましてご説明させていただきたいと思えます。

前回の第 2 回検討会におきまして、本日の参考資料 2 としております資料になりますけれども、「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」に基づいてご審議をいただき、「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、農作物や樹木等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する」とされました。

本資料は、果樹を含めまして日本の農作物の成長や収量に及ぼすオゾンの影響についての現状の科学的知見をまとめたものになります。なお、資料中、あるいは説明の中で「オゾン」と「光化学オキシダント」という言葉が混在しますが、文献の引用等の都合ですので、基本的には同義であるというふうにお考えいただければと思います。

そうしましたら説明に入りたいと思います。

1960年代に光化学オキシダントによる可視障害の観察が報告されたのが我が国における光化学オキシダントによる農作物被害としての最初だとされておりまして、その後、1970代から80年代を中心に我が国の農作物へのオゾンの影響評価に関する調査・研究が様々な農作物や果樹を対象に数多く行われてきております。古い文献につきましては入手できていないものがございますけれども、本資料では、オゾンが成長や収量等に及ぼす影響に関する知見を収集し、主に作物種別に整理するとともに、リスク評価を行っているような研究や作物種間あるいは品種間のオゾンに対する感受性の差について言及した研究といった観点でも整理をしております。

まず、「成長や収量に及ぼす影響」についてご説明させていただきたいと思います。2ページ目、31行目をご覧ください。2.1から2.12にかけて、作物種別に説明させていただいた後、2.13では、複数の作物種を調査した研究についてご説明させていただきます。

まず、2.1.イネをご覧ください。オゾンによるイネの収量減少に関する報告は他の作物と比較すると多数ございます。その全てをご紹介することは難しいですけれども、その中の幾つかご紹介させていただきたいと思います。

2ページ目の35行目から4ページ目の25行目には、空気浄化試験、いわゆるFAC試験を用いた試験が主に記載されています。FAC試験につきましては、前回の検討会においても、本日の参考資料3を用いて紹介させていただいておりますが、野外のオゾンを除去した大気を導入する浄化室と、そのままの大気を導入する非浄化室というものを設置し、この両室内で植物を育成し、実際の野外におけるオゾンによる植物影響を比較検討する方法となっています。

2ページ目の35行目をご覧ください。中村らは、1976年、1979年の報告にて、イネ4品種の減収影響について検討をしております。浄化区に比べて非浄化区で、品種による違いはあるものの、もみ重、穂数、登熟歩合、千粒重等が、浄化区に比べ非浄化区において11～25%程度低かったと報告をしております。このときの光化学オキシダントは、浄化区で70～80%除去されており、非浄化区の濃度は50ppb、超過時間が765時間、日平均値は37.4ppbであったとされております。

3ページ目の13行目になりますけれども、1981年に報告された浅川らの研究では、イネ8品種を用いたFAC試験において、6品種について、非浄化区の収量が2.3～27.1%減少する等の影響が見られています。なお、2品種については、逆に浄化区の収量のほうが非浄化区の収量よりも低かったというふうにされています。

4ページ1行目に記載の、1981年に報告された沖野らの研究では、イネの品種の一つである日本晴を用いたFAC試験を行いまして、茎数や穂数が非浄化区で少なく、穂重の減少により収量は非浄化区で減少したというふうにされております。このときの光化学オキシダントは、浄化区で95%以上除去されており、非浄化区の濃度は24時間平均で30ppbであったとされております。

以上、イネを対象に、1970 代、1980 年代に行われた幾つかの FAC 試験を紹介させていただきました。これらの試験では、基本的に、浄化室に対して、非浄化室では減収が見られているものが多いのですが、浄化区や非浄化区のオゾン濃度は明瞭に示されていないため、オゾン濃度と成長などの低下との定量的な関係性の検討に用いるのは難しいとされており、この辺りにつきましては、後ほど資料 3-2 を用いて米倉委員より補足いただきたいと思います。

続きまして 4 ページの 11 行目をご覧ください。日本晴を対象に自然光型ガス接触装置（温室型オゾン曝露チャンバー）によるイネのオゾン曝露試験を実施し、生殖成長・登熟期のオゾンが収量に及ぼす影響を評価した研究もございます。1983 年に報告された真弓と山添の研究がそれに該当しますが、当該研究では、詳細は割愛しますが、出穂期においてオゾンによる低下が著しかった等の結果を報告しております。

続いて、1990 年代以降に行われたオープントップチャンバー試験、いわゆる OTC 試験を用いて、オゾンによるイネの収量減少等について調べた研究についてまとめております。

4 ページの 32 行目から記載しております 1993 年の矢島の研究では、コシヒカリと日本晴という 2 種類の品種について、OTC 試験を実施しています。オゾン濃度は野外の 0.5 倍、1 倍、1.5 倍、2 倍、2.75 倍の 5 段階を試験しています。その結果、オゾン曝露量の増加に伴って、イネの収量が減少し、精玄米重の結果を基に 5 ページの 1 行目に記載のオゾン曝露応答関係式というものを導き出しております。この関係式は、対象年の野外 1 倍区の収量を 1 とした場合に、日平均オゾン濃度 10ppb 増加に伴って、収量が 1.5% 減少するということを意味しております。

続きまして、1995 年の Kobayashi らの研究では、先に紹介した矢島の 1993 年の報告と同じ OTC でのオゾン曝露試験の結果によって、図 1 に示すようなオゾン曝露応答関係式について検討しています。図 1 のほうをご覧ください。横軸のオゾン濃度は、昼の 7 時間、具体的には 9 時～16 時の平均値を用いておりまして、オゾン濃度 20ppb での収量を 1 とした場合の相対収量が縦軸となっております。本文献では関係式そのものは示されていませんけれども、平均オゾン濃度が 50ppb で収量は 3～10% 減少すると推定をしております。

5 ページの 16 行目に記載しております 2010 年に報告がございました米倉らの研究では、コシヒカリの生育段階別のオゾン曝露が収量に及ぼす影響の評価等を 3 年間の OTC によるオゾン曝露試験より検討しております。こちらの図 2 に示すとおり、単位オゾン曝露指標 AOT40 とオゾン曝露による収量低下の関係式を導出しております。

AOT40 につきましては、こちらでも前回の検討会におきまして、本日の参考資料 3 を用いて紹介したのになりますけれども、閾値である 40ppb を超過したオゾン濃度を、指定された期間にわたって積算した値になっています。

続きまして、6 ページの 5 行目に記載の、2005 年に報告された米倉らの研究では、浄化、野外、1.5 倍野外という 3 段階のオゾンレベルによる OTC 試験を日本の品種 9 種、外

国の品種7種について行っております。収量に対するオゾンの影響を検討しております、図3に示すように、日本のイネ9品種よりオゾン曝露応答関係式を導出してしております。さらに、イネの相対収量とAOT40との関係を基に、我が国のイネの収量が5%減収するAOT40というものを算出したところ、この実験で日本のイネ9品種のうちオゾン感受性が中庸であったコシヒカリにおいて100日間の昼間のAOT40で5.4ppm・hであったとされております。

7ページ4行目に記載の、2008年に報告されたYamaguchiらの研究では、イネ2品種を対象に、浄化空気、あるいは10時～17時の間に60ppbもしくは100ppbのオゾン曝露を行う3段階のオゾン曝露試験をグリーンハウス型OTCを用いて実施しております。その結果、コシヒカリは、浄化に比べ60ppb曝露で3%、100ppb曝露で23%の収量減少、キヌヒカリで浄化に比べ60ppb曝露で18%、100ppb曝露で34%の収量減少が認められたというふうにしております。

12行目に記載のSawada及びKohnoの研究では、日本とアジアのイネ21品種にオゾン曝露試験をガラス温室型OTCで行い、外気の2倍のオゾン濃度、具体的には24時間平均値で57ppbによって、有意な収量低下が生じた品種は、1品種を除き全てインディカ型の品種であり、コシヒカリなどのジャポニカ型品種はインディカ型品種よりも収量に対するオゾンの影響が小さい傾向にあるということを示しております。

18行目から記載の2014年のYamaguchiらの研究では、コシヒカリを対象に、浄化空気、野外の1倍または1.5倍のオゾン濃度という3段階のオゾン曝露試験を、グリーンハウス型OTCを用いて実施し、収量に対するオゾン曝露応答関係式をAOT40と水蒸気気孔コンダクタンスなどにより算出したオゾン吸収量に基づいて検討し、図4に示すとおり、それぞれオゾン曝露応答式を導出してしております。

以上、イネの収量減少に関する知見を幾つかご紹介させていただきました。

続きまして、ダイズについてご説明させていただきます。8ページの17行目をご覧ください。1993年に報告された川方と矢島の研究では、ダイズ2品種に対して、0.4倍、野外、1.5倍、2倍、2.7倍の5段階のオゾン曝露による収量影響を、フィールドチャンバーを用いて評価しています。その結果、オゾン濃度上昇に伴う収量、乾物生産量の低下がもたらされたとしています。また、3か年の試験によるオゾン曝露応答関係に基づくと、オゾン濃度10ppb上昇により収量が約6%減少するとの推定をしております。

2000年に報告された米倉らの研究では、ダイズに対して自然光ファイトトロンを用いて、昼間9時～17時に60ppbオゾンを曝露した結果、子実数の低下に伴う収量低下が認められ、浄化区に比べ10%程度低下したと報告されております。

続きまして、オオムギになります。1985年の千葉農業試験場の研究では、1980年、1981年度の12月～5月にオオムギを対象としたFAC試験を行い、分けつ盛期（いわゆる茎数増加期）の頃から非浄化区において草丈、茎数の低下、収量の減少が見られたとされ

ています。なお、1980年度の育成期間においては、60ppb以上のオゾン濃度が観測された時間は209時間で、非浄化区での収量低下率は6.1%などとされております。

続きまして、ラッカセイになります。1985年に報告された千葉農業試験場の試験では、ラッカセイを対象としたFAC試験を行った結果、収量が減少したとしております。具体的には、60ppb以上のオゾン濃度が観測された時間帯のオゾン曝露量と非浄化区における収量低下率は、例えば、1975年ではそれぞれ6,600ppb・hで12.2%、1976年では1万1,820ppb・hで16.3%、1977年では1万3,140ppb・hで2.5%などとなっております。実験をした年による収量低下の程度の違いというものはオゾン曝露量の違いのみでは説明できないというふうにしております。

続きまして、バレイショになります。松丸と高崎が1991年に報告した研究では、オゾンによるバレイショ2品種の葉の可視障害と収量への影響をFAC試験を用いて調査をしておりまして、次のページの表1のような結果を報告しております。詳細は割愛させていただきますけれども、著者らは、収量影響のオゾンの閾値は、日平均オゾン濃度で40ppb前後であると推定しております。

続きまして、10ページ10行目からになりますけれども、1985年に報告された野菜試験場の報告では、トマトを対象としたオゾン曝露試験を行っておりまして、0、50、100ppbの3段階のオゾン濃度での曝露を、1日8時間あるいは28日間実施することによって、オゾンによる個体乾重量、特に葉の乾重量の低下が認められたというふうにしております。

さらに、中島の1989年の報告では、トマトを対象としてグロースキャビネットを用いたオゾン曝露試験を行い、100ppbのオゾンの10日間の曝露によって、地上部の重量が12%減少したというふうに報告をしております。

続きまして、キュウリになります。1985年の野菜試験場の報告によりまして、1979年～1981年にキュウリを対象としたオゾン曝露試験を行って、1979年は0、50、100ppbという3段階で1日8時間の曝露を26日間と56日間実施し、1980年は0、50ppbで同様に26日間曝露した結果、葉身と根の有意な成長抑制が認められ、また、1979年の試験においては、38%の収量低下が100ppb曝露で認められたと報告しております。さらに、本研究では、キュウリの生育に関するオゾン曝露応答関係式を、27行目のとおり推定をしております。

続きまして、中島による1989年の報告では、キュウリを対象とした曝露試験を行って、オゾン濃度100ppbを10日間処理した結果、オゾン処理区で地上部重が22%減少したと報告をしております。

また、1995年のIzutaらの研究では、播種後7～21日目の15日間に、合計6回、1日当たり6時間の100、150、200ppbの3段階のオゾンを曝露した結果、150ppb以上のオゾン曝露により、葉面積及び乾物成長が低下したと報告されております。

続きまして、11ページのコマツナになります。

Yonekura らによって 2005 年に報告された研究では、コマツナを対象に、浄化、60、90、120ppb という 4 段階のオゾン曝露試験を人工気象室にて実施し、オゾン濃度上昇に伴って成長の低下が認められたとするとともに、15 行目に記載の相対成長と AOT40 とのオゾン曝露応答関係式を報告しております。

17 行目から記載の米倉の 2016 年の報告では、コマツナを対象に、埼玉県環境科学国際センターで OTC 試験を実施しております。育成期間中の浄化区のオゾン濃度は 10ppb 以下で、野外区、いわゆる非浄化区の昼間の平均オゾン濃度は 52ppb、最大で 143ppb であったと記載されています。1 か月間育成をした結果、個体乾重量は野外区で 42% の成長低下が認められたというふうにされております。図 5 はその際のコマツナの写真を示しており、左側が浄化区、右側が野外区（非浄化区）となっております。

続きまして、ハウレンソウになります。佐藤らによって 1983 年に報告された研究では、1980 年にハウレンソウを対象に、0、60ppb の 20 日間曝露、それから 120ppb の 10 日間曝露の 3 段階の処理区でのオゾン曝露試験を行ったところ、乾物重量がオゾンにより減少したと報告をしています。

続きまして、ハツカダイコンになります。12 ページの 7 行目をご覧ください。伊豆田らによって 1988 年に報告された研究では、ハツカダイコンを対象に OTC 試験を実施しており、野外、つまりは非浄化区の個体当たりの葉面積及び乾重量が浄化区に比べて有意に低下したとしております。葉面積や個体乾重量の相対成長割合と日平均 8 時間のオゾン曝露量との関係を検討した結果、それぞれの相対値はオゾン曝露量の増加に伴って直線的に減少し、浄化区の個体乾重量を 100 としたときの相対個体乾重量を示すオゾン曝露応答関係式を得ております。

続きまして、13 行目をご覧ください。1993 年に Izuta らによって報告された研究では、ハツカダイコンを対象に 3 年間にわたる 17 回のオゾン曝露を行う OTC 試験を実施しております。その結果、育成期間中の午前 9 時における平均気温が 20℃ 以上の場合において、オゾン濃度の増加に伴う個体乾重量の低下が認められたとしております。また、個体乾重量の相対成長割合と日平均 8 時間、8 時～16 時になりますけれども、そのオゾン曝露量との関係を検討した結果、浄化区の個体乾重量を 100 としたときの相対個体乾重量を示すオゾン曝露応答関係式を得ております。

26 行目から記載の 2005 年の Yonekura らの報告では、ハツカダイコンを対象に、浄化、60、90、120ppb の 4 段階のオゾン曝露試験を人工気象室にて実施した結果、オゾン濃度上昇に伴って個体乾重量の低下が認められ、浄化区の個体乾重量を 100 としたときの相対成長と AOT40 とのオゾン曝露応答関係式を 30 行目のとおり導出してしております。

続きまして、メロンになります。中島の 1989 年の報告では、メロンを対象にオゾン濃度 100ppb を 10 日間処理した結果、オゾン処理区で地上部重が 11.4% 減少したとされております。

続いて、果樹になりますけれども、13 ページ目の 21 行目をご覧ください。三重大学が 1985 年にモモを対象に、5 月中旬より 0、0.07、0.15ppm のオゾンを経日 3 時間、15 日間にわたり曝露する試験を実施しております。果実の落果率はオゾン濃度の増加に伴い高くなったと報告されております。その他、ウンシュウミカン、ナシについても、オゾンの影響を評価した研究が報告されていますけれども、ここでは詳細は割愛したいと思います。

2 ポツの成長や収量に及ぼす影響の項の最後の項目になりますけれども、2.13 では、複数の作物種を調査した研究についてまとめております。

14 ページの 14 行目からに記載されております、1985 年の農林水産技術会議事務局においては、14 行目から 28 行目に記載されているとおり、様々な農作物に関して、次のとおり取りまとめを行っております。

16 行目からになりますけれども、イネにつきましては、40ppb オゾンの日中全生育期間接触で必ずしも収量への有意な差を生ずるとは限らないが、50ppb 曝露で有意差が見られる場合が多く、また、汚染の影響を受けやすいのは登熟期であって、光化学オキシダント濃度の日最高値が 60ppb 以上の時間数、日数またはドース、いわゆる濃度と時間数の積と減収率との間に高い相関が見られるというふうにしております。

オカボ、オオムギ、ビールムギ、コムギ、ソルダム、ソバ、ダイズ、ラッカセイなどの一般畑作物については、オゾン濃度 40ppb では、一般にはほとんど影響が見られず、60ppb 以上で生育抑制や収量低下をもたらす場合が多くなるというふうにしております。

野菜については、一般にオゾンに対する感受性が高く、トマト、キュウリでオゾン濃度 50ppb 接触により乾物生産の低下をもたらす。また、光化学オキシダント濃度の日最高値が 50ppb を超えると、ハツカダイコン、ホウレンソウ、インゲンマメなどでは収量への影響が有意に現れやすくなるというふうにしております。

続きまして、15 ページの 7 行目をご覧ください。

米倉らによる 2007 年の報告では、比較的短期間（1～2 か月）で収穫する近郊野菜のコマツナ、チンゲンサイ、サントウサイ、ターサイ、ハツカダイコン、コカブ、サラダナ、シュンギク、ハネギを、埼玉県環境科学国際センター内に設置されているオゾン濃度を 3 段階に設定可能な外気オゾン濃度比例追従型の OTC 内で複数回にわたって育成をしたとされております。それぞれの農作物において、30 日間の平均積算値に換算した AOT40 と、浄化空気区の収量を 100 としたときの各オゾン処理区の収量の相対値との関係について検討をし、図 6 に示すとおり、各農作物について AOT40 と相対収量との直線回帰式を求め、収量が 5% 低下となる AOT40 の値を検討した結果、30 日間の AOT40 値で、1.2～2.1 であったというふうにしております。

以上のとおり、「2. 成長や収量に及ぼす影響」では、様々な農作物を対象に行われてきたオゾン曝露の影響を評価した研究等について、まとめました。

続きまして、15 ページの 20 行目では、オゾン影響のリスク評価を行っている事例、つ

まり、個々の実験から導出したオゾン曝露応答関係式を常時監視測定局で測定されたオゾン濃度と組み合わせることで、現状の大気中オゾン濃度による農作物の減収率を推計した研究を紹介しています。

この部分については、後ほど、米倉委員より詳細なご説明をいただきますので、ここでの説明はごく簡単なものとさせていただきますが、研究を実施した当時の光化学オキシダント濃度においては、イネの収量、あるいはコマツナやハツカダイコンの成長におおよそ5～10%程度の影響があることなどが示唆されております。

最後に、16 ページ 21 行目、4 ポツの部分をご覧ください。

ここまで、日本の作物種にオゾンが与える影響を評価した研究等を紹介しましたが、ここまでの説明の中でも少し言及しておりましたが、この項では作物種や品種、あるいは生育段階によるオゾンに対する感受性の差に関する知見というものをまとめております。この部分につきましても、後ほど、米倉委員より資料 3-2 を用いて補足説明をいただきますので、ここでの言及は簡単なものにとどめたいと思います。

16 ページ目の 24 行目をご覧ください。少し古いところでは、野内らによる 1998 年の報告では、オゾンに対する成長・収量の作物種間の相対的な感受性の比較をまとめており、そちらを表 2 として示しております。詳細は割愛しますが、オカボ、ダイズ、ラッカセイ、ソバは、60ppb 以下で成長や収量に影響があり、一方で、トウモロコシ、オオムギ、ビールムギは 60ppb を超えた濃度で成長や収量に影響があったとされております。

17 ページの 9～15 行目に示している、2007 年の米倉ら、あるいは 1999 年の小林らの研究でも、作物種の感受性差について報告がなされております。

18 ページの 1 行目からは、品種間の感受性差に関する知見を記載しております。

特にイネに関する報告が比較的多くなされており、例えば、先の図 3 で示したように、日本の品種と外国の品種を比べると、日本の品種においてオゾンによる収量低下が比較的少なく、低オゾン感受性であることなどが示されております。ほかにコマツナにおける個体乾重量の低下やハツカダイコンにおける乾物成長の減少においても、品種間の感受性差が認められております。

さらに、11 行目からになります。生育段階における感受性の違いも指摘されております。

以上、最後のまとめになりますけれども、資料 3-1 では、我が国における農作物の成長や収量などにオゾンが及ぼす影響に関する文献・知見を取りまとめました。特にイネに関する検討・知見が多いですけれども、多岐にわたる農作物についてオゾンの影響の検討がこれまでになされており、オゾンが様々な農作物の成長や収量などに対して悪影響を及ぼすことを報告している知見が数多くあることが分かります。先に述べたとおり、リスク評価や感受性差につきましては、この後、米倉委員より補足説明をいただきたいと思っております。

資料 3-1 については以上となります。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

ただいまの事務局からの説明について、資料の作成にもご協力いただいた米倉委員から補足説明をお願いできればと思います。よろしくお願いたします。

【米倉委員】 埼玉県環境科学国際センターの米倉です。

今お話にありました日本の農作物に対するオゾンの影響に係る科学的知見の整理ということで、お話の中の一部をピックアップしまして、補足説明をさせていただきます。

まずは、今回は大きく 4 点について補足説明をさせていただければと思っております。

一つ目はオゾン影響評価試験の手法について。二つ目がオゾンによる葉の可視障害についての補足と、成長・収量影響との関連性。三つ目がオゾンによる影響の作物間差異や品種間差異。四つ目がオゾン影響のリスク評価事例の紹介というところです。

非常に重複する部分がございますけれども、一つ一つ理解を深めていきたいところですので、少し丁寧にご紹介させていただきます。

まず、1 番目ですけれども、オゾンの影響評価試験について。これは先ほどご説明いただきましたけれども、1970 年代、1980 年代にオゾンに対する植物影響評価試験というものが多く実施されてきました。それらの多くがフィルタードエアーチャンバー試験というもので実施されてます。FAC とも略しますけれども、フィルタードエアーチャンバーとは、下の写真にお示ししていますように空気浄化施設のことを指しています。

左の写真、これは昔の千葉県農業試験場のフィルタードエアーチャンバーの写真を拝借しているんですけれども、多くの施設が活性炭フィルターで、オゾン除去された空気が導入される浄化室、手前が野外の空気が導入される非浄化室になっております。非浄化室側には野外のオゾンが導入されているために、二つのチャンバーで育成される植物を比べることによってオゾンの影響を評価するというようなものであります。

その後、オープントップチャンバーというのは FAC の発展形で、フィルタードエアーチャンバーは基本的には密閉式であったものから、屋根が開くなど、開放型になったものをオープントップチャンバーというふうに呼ばれます。

さて、ここでの本題なんですけれども、このような FAC を用いた 1980 年代ぐらいまでの研究の報告というのは、非浄化区のオゾン濃度が明瞭には示されていないものが結構多いというものであります。

こちらの下に一例を示しておりますが、このように浅川らの報告に示されているオゾンデータというのは、実験期間中の日最高濃度のみの棒グラフというものになっています。なぜこのような報告が多いかについて、推察するにですけれども、当時はもともとオキシダントによる葉の可視障害の影響評価というものからオゾンの影響評価というものが始まっていますので、可視障害が発現する高濃度域のオゾンに着目していたというところが多いのではないかとこのように考えられます。

その他は、先ほどご紹介のあったオゾンの実験の中でも案外平均値等の数値が示されていない場合というものが結構あります。

また、現在では多く用いられている欧米などで提唱された AOT40 などの積算値での評価というのはもっと後からの時期になりますので、先ほどもお話がありましたオゾン濃度やドースと作物の成長や収量影響との定量的な関連性、すなわちオゾン応答関係式みたいなものを検討するためには、このような昔の報告を活用するのがなかなか難しいというようなことがあります。これが1点目の補足です。

2点目ですけれども、次、お願いします。

オゾンによる葉の可視障害についての補足と、成長や収量影響との関連性について補足したいと思います。

次、お願いします。

こちらは既に前回の委員会でオゾンの植物影響評価の話で、葉の可視障害について説明がありました。農作物のオゾン影響を検討する上では、この可視障害というのは非常に重要ですので、少し補足説明させていただきます。

オゾンによる葉の可視障害は、この写真のように白色や褐色の斑点、もしくは斑として発現します。このようなオゾンによる可視障害が発現すると、ここで左上に示しているようなハウレンソウやコマツナなどといった葉物野菜においては、出荷ができなくなったりというようなこともありますので、生産者にとっては非常に経済的な損失にもつながるといところで、むしろ葉物野菜においては成長や収量などよりは、この葉の可視障害の影響のほうが甚大な問題になり得るといところであります。

次、お願いします。

では、この葉の可視障害ですけれども、どの程度のオゾン濃度で葉の可視障害が発現するかといところですが、これは1981年の寺門と久野らの報告でございますけれども、オゾン感受性と示されているのは、括弧内の日最高オゾン濃度で可視障害が認められたことより判断しているもので、オゾン感受性「高」というのは、日最高オゾン濃度が100ppb、「低」というのは、日最高オゾン濃度が150~200ppbのときに可視障害が出たというふうに示されています。

ここに示されているニンジンやソバ、ゴマ、パセリ、一番下の「低」といった作物は、日最高オゾン濃度が150ppbを超えないと可視障害が発現せず、一般的には大体日最高オゾン濃度が100ppbを超えてくると可視障害が発現しやすいというふうに考えられています。植物間でオゾンによる葉の可視障害の発現のしやすさにはこのように違いがあるといところが理解いただけるかなと思います。

次、お願いします。

このような我が国の作物に対する葉の可視障害の発現に関する作物間差異については、検討が進められておりまして、野内らの報告においては、単に日最高オゾン濃度での評価

ではなくて、可視障害が生じたオゾン濃度の2乗に曝露された時間を乗じたオゾン指標値というものを使用しています。単位は上に示しているんですけど、 $\text{ppm}^2 \cdot \text{hr}$ ですね。

どういうコンセプトでこの値を考えたかといいますと、同じドース、すなわちオゾン濃度、掛ける時間で、オゾンにさらされていても、高濃度で短時間の曝露のほうが可視障害が生じやすいという考えに基づいて検討されているというものであります。

この報告によりますと、先ほど可視障害、一つ前の寺門と久野においては、ニンジン「高感受性¹」というふうに示されていましたが、こちらでいうと、「感受性」に分類されるといったように、評価軸によって可視障害に対する感受性は若干変わったりもしていますが、やはりご覧のように、作物種、植物種によって可視障害の感受性というのは大きく違っているということがこちらからも分かるかと思えます。

次、お願いします。

これは、さらに同一作物種においても品種間での可視障害の発現のしやすさに差があるということが報告されています。ここにお示しした印南と三輪の報告では、ハウレンソウに120ppbのオゾンを1日5時間、3日間連続で曝露した後の葉の可視障害の発現率を示したものです。ご覧のように、多くの品種を並べておりますが、品種によってこの可視障害の発現率が随分下がるということです。

ちなみに図の右側の品種「新日本」、「次郎丸」、「日本」には「角種」と書いていますけど、これはハウレンソウには東洋種と、西洋種があるんですが、東洋種というのは比較的日本の昔からの古来のハウレンソウなんですけれども、その古来のハウレンソウのほうがオゾン感受性が高いという傾向にあります。

ただ、この品種は最近あまり使われていまして、昔よくギザギザしたハウレンソウというのを見かけたことがないかなと思うんですけど、そういうものは比較的日本種ですね。今一般に売られているようなもので、葉っぱがギザギザあまりしていないハウレンソウというのは西洋種が多く混ざった品種になっています。ですので、現在使われている品種というのは比較的可視障害がでにくいような品種なのかもしれません。

次、お願いします。

葉の可視障害について今説明してきましたけれども、葉に可視障害が発現すると、成長などに少なからず影響を及ぼすということは十分に予想できるかと思えます。葉のクロロフィル等も破壊されますし、光合成などによる同化産物生産にも悪影響を及ぼすことは十分に考えられるというところです。

しかしながら、作物種の品種間において「葉の可視障害の発現レベル」と「成長や収量低下の度合い」には、先ほどのご説明にもありましたけど、明瞭な相関関係が認められないという報告というのが数多くあるというところです。ちょっとそのメカニズムについて

¹ 事務局による注釈：正しくは「低感受性」。

までは当方はよく分からないんですけれども、同様に、欧米などの報告でもこのようなことは報告されています。

ですので、オゾンの感受性評価をする際に、葉の可視障害への感受性評価と、成長と収量への感受性の評価というものは別ものとして評価したほうがいいのではないかとこのころで、そこはちょっと注意しないといけない点なのかなというところで、この点についても補足させていただきました。

次、お願いします。

次は3点目です。これはオゾンによる影響の作物間差異や品種間差異についての補足でございます。

次、お願いします。

今お話がありましたように、1970年代以降、オゾンによる我が国の農作物への影響というのはいろんな作物、果樹で行われてきましたけれども、オゾンというのは農作物の成長や収量に対して悪影響を及ぼし、それらの低下を引き起こすというのはご理解いただけたかと思えます。

この写真は、また先ほどご説明いただいたものですが、カラー写真ですが、左が実験シーンですけれども、左が小型のオープントップチャンバー試験で、浄化、非浄化で育成して、1か月間したようなものですが、ご覧のように、成長の抑制というのはよく認められて、約40%の成長低下が見られています。

その際のオゾン濃度というのは、大体52ppbで、最高値で140ppbを超えているという状況ですね。この現状レベルの、例えば埼玉県でも、潜在的なこういう悪影響というのは十分にあるだろうということは予測されるかと思えます。

次、お願いします。

また、こちらは山口委員らが行った報告でございますけれども、オゾン除去、昼間60、昼間100ppbの曝露によって収量減少が起こるところですが、光化学オキシダントの環境基準値60ppbレベルのオゾンがずっと曝露されると、イネの収量も低下することが分かるかと思えます。

次、お願いします。

先ほどと同じ野内らの報告からでございますけれども、作物種間でオゾン影響の受けやすさがそれぞれ異なるということです。こちらに示した報告というのは、0ppb、40ppb、60ppb、100ppbの3段階でオゾン曝露試験をして、影響の発現を調べたものですが、先ほど、陸稲やダイズ、ここにダズズというふうになっていますけれども、これは誤字だと思いますが、ダイズですね。ラッカセイも下はラッセカイになっていますけれども、これはラッカセイの誤字だとは思いますが、この辺の作物というのは60ppb以下で成長や収量に悪影響が出始めているという一方で、青で示したようなトウモロコシやオオムギ、ビールムギといったものは60ppb、それ以上ではないとオゾンによる悪影響が発現しない

というようなところで、やはり作物種間でも差があるというのがこういう報告からも分かります。

次、お願いします。

米倉らの報告でございますけれども、また先ほどもお話がありましたが、都市近郊の野菜でもこういう作物間差異というのは認められておまして、この横軸 AOT40 と縦軸相対収量との関係については、ご覧のように、もちろん右肩下がりで、オゾンの増加による成長低下というのはあるんですけれども、その低下度合いというのは作物種によって異なってきたというようなことが示されております。

次、お願いします。

さらに重複しますけれども、同一作物種でも品種によってオゾンの影響の受けやすさが異なるという報告が幾つもあります。ここでお示ししている伊豆田らの報告によると、コマツナやハツカダイコンの成長に対するオゾン影響に品種間差異が認められております。

次、お願いします。

このような研究はたくさんあるんですけれども、一例として、収量影響について、バレイショの報告をご紹介したいと思います。

次、お願いします。

この図は横軸が4月から5月の平均オゾン濃度を示しておまして、縦軸はバレイショの減収率を示したものです。減収率なので、これは上に行くほど、オゾンによる収量低下が著しいということを示しています。これについて、先ほどのお話にありましたけど、ダンシャクイモとワセシロという二つの品種で育成調査をしたところ、黒丸のダンシャクのほうがワセシロよりもオゾンによる悪影響が出ていると。すなわちオゾン感受性が高いというような傾向が認められるということで、やはり品種間差異ということも認められるということでございます。

次、お願いします。

このような品種間差について、我が国の、特に品種間差について、我が国の主要穀物である、そしてまた、オゾン研究の事例が比較的多いイネについてもご紹介したいと思います。

先ほどもお見せしましたけれども、現状レベルのオゾンでもイネの収量は低下しているというのは十分予想されるというようなことが考えられます。

次、お願いします。

こちらは先ほどもまたお話がありましたが、小林らの報告でございますが、縦軸はイネの相対収量と、横軸は日平均オゾン濃度、昼間の平均オゾン濃度（昼7時間）との応答関係を示しております。このように大体60ppb程度の平均オゾン濃度になりますと、10%程度の低下が認められているということです。

この報告のレスポンス式を用いて、他の作物との比較というものもしてみました。

次、お願いします。

こちらの図になりますけれども、これは赤い線が先ほどのイネのラインです。その他、コムギやダイズ、トウモロコシ、ワタなどとの比較をしている図となっています。ご覧のように、イネのラインというのは比較的傾きが緩やか、すなわちオゾン感受性がコムギやダイズ、トウモロコシなどに比べて低いという傾向にあるということがこの図から分かるかと思えます。

ただし、ここでちょっと留意していただきたいのは、ここで用いられているトウモロコシやダイズ、コムギの品種というのは欧米のものであります。ですので、先ほどから申し上げているように、品種間差異というものがある中で、欧米のものであるので、日本の品種ではないという点を留意することが必要かというふうにも思えます。

次、お願いします。

これはイネの収量に対する品種間差異ですけれども、やはりそれもあるというのをお示しする図表になります。この図は横軸が相対収量と AOT40 との関連性を示していますが、ご覧のように、結構ばらついていて、この影響に品種間差異があることが示されているかと思えます。

また、ここではインディカ米とジャポニカ米、すなわち日本の米と海外の米でも比較的感受性に差があることが示されました。それは、白抜きのマーカーが日本のお米で、黒塗りのマーカーが海外のお米なんですけれども、海外のお米のほうが比較的高濃度域において低下率が大きく図の下のほうに示されているというようなところがあります。

次、お願いします。

これでジャポニカ米とインディカ米をそれぞれ合わせて、オゾン応答式を導出してみますと、やはり傾きの的にジャポニカ米が上で、インディカ米が下になるというところで、全体的に日本のお米というのは海外のお米に比べてオゾンに強いのではないかなというふうなことが考えられます。

これは先ほどご紹介があった Sawada and Kohno の報告などにおいても同様な傾向が支持されているというところで、ほぼほぼそういうものではないだろうかというふうに考えられます。

次、お願いします。

では、最後、オゾン影響のリスク評価の事例として、残念ながら、我が国での報告は非常に少ないんですけれども、大きく二つの事例を紹介させていただきます。

次、お願いします。

これは手前みそですみませんが、当方で行った実験で、この実験というのはもともと高濃度二酸化炭素下でのオゾン感受性が変化するかについて、コマツナとハツカダイコンで検討したものです。ですので、これは人工気象室でオゾンを昼間に 0、60、90、120 の 4 段階、1 か月間曝露した結果による相対成長と AOT40 との関係を示しているものです。

次、お願いします。

この赤いラインというものが現状レベルの二酸化炭素濃度の環境下でのオゾン応答を示したものですけれども、左がコマツナ、右がハツカダイコンですけど、この応答式を見ていただければと思いますが、本試験では現状レベルの二酸化炭素濃度下でのオゾン応答、オゾン感受性はコマツナとハツカダイコンでほとんど差はありませんでした。このドースレスポンス、オゾン応答式を用いて、関東地方のリスク評価を行ったものが次になります。お願いします。

こちらは関東地方の1990年～2000年の6月～8月の30日平均のAOT40よりコマツナとハツカダイコンの成長低下率を推定したものです。先ほど申し上げたように、本試験においては現状レベルの二酸化炭素濃度下でのオゾン応答というのは、コマツナとハツカダイコンであまり変わらなかったということでしたので、両図の色合いもほとんど変わらないかと思います。

これによると、関東地方において、この両作物は、オゾンによって5～20%の成長低下をしているということが推定されました。特にちょっと色が濃くなっている部分が成長低下程度が高い部分なんですけど、東京、埼玉、群馬において比較的高い低下程度というものが示されているというようなことであります。

次、お願いします。

では、リスク評価の二つ目ですけれども、イネの収量に対する関東地方のリスク評価について、幾つか報告がございますので、紹介させていただきます。

ここで紹介させていただくのは1999年の小林ら、これはオゾンの影響を組み込んだ水稻生育モデルより推定したもので、2003年の高木と大原の文献は、上の小林のモデルを基に、1996年から平均減収率を推定したものです。米倉らの2005年の報告は、先ほど水稻のドースレスポンスをお見せしましたが、それを用いて1990年～2000年の平均減収率というのを推定したものです。中西らは、元データとしては小林先生らの報告を用いておりますが、その解析を深めまして、最終的にはAOT30を用いて2002年の減収率を評価した文献です。

検討の仕方が若干それぞれ違いますので、黄色で示したこの三つの文献について簡単に紹介させていただければと思います。

次、お願いします。

まず、小林らのオゾンの影響を組み込んだ水稻生育モデルより、1981～1985年の平均減収率の評価したものが右の図になります。それぞれの減収程度と平均というものが示されていますけれども、ちょっと色が見にくい部分がございますが、埼玉県中央から関東平野の中心部にかけて減収率が最も高く、茨城県や千葉県の太平洋沿岸地域では減収率が低いというような結果や、トータルで考えますと、関東の水稻の最大減収程度というのは5～10%変動する。さらに5年間の最大減収率の平均としては7%ぐらいであるというよ

うなことを推定しております。

次、お願いします。

これは私の報告ですけれども、ちょっと色をつけてみました。これは 1990～2000 年の平均 AOT40 より水稻の減収というのは、浄化環境下より 5～10%程度減少しているというふうに推定しているものでございます。

次、お願いします。

最後、中西らですけれども、これは AOT30 ですね。30ppb 以上のオゾンというものを積算した指標を用いて、2002 年の平均減収率は 9.22%というふうに推定しておりまして、大体これは色が濃いのは埼玉県、群馬県といったところがあります。ただ、若干いろんな、それぞれのレポートにおいて、色の具合というのはそれぞれ異なっているというのもご理解いただけるかなと、見てとれるかなというふうにも思います。

次、お願いします。

以上、様々な推定はありますけれども、これらの評価事例を検討すると、やはり 1990 年～2000 年ぐらいのレポートというのが多いんですが、それらを現状レベルというふうにしていいかというのはまた議論かもしれませんが、オゾンによって清浄空気下より最大で 10%程度の減少というのが十分に予測されるというようなことが考えられます。

次、お願いします。

以上、足早ですが、四つの補足点についてのまとめをお示しました。

一つ目は、オゾンは農作物の成長や収量などに対して悪影響を及ぼす点というのは明白でありますけれども、オゾン濃度やドースと成長・収量の低下との定量的な関係性の検討に用いることのできるデータというのは思いのほか少ないということ。

オゾン感受性評価の際は、「葉の可視障害」に対するオゾン感受性と、「成長・収量」に対するオゾン感受性の評価というのは別で考えた方がいいというようなことが 2 点目。

3 点目としては、オゾンに対する影響の受けやすさ、すなわちオゾン感受性というものは、作物種の間で異なっているだけでなく、同一種でも品種により差があるということ念頭に置かなければならないということです。

あと、最後に、オゾンリスク評価によると、影響に種間差や品種間差はあるが、少なくとも関東地方の現状レベルのオゾンによって、清浄空気下に比べると 10%程度の低下というのは十分に予測されるのではないかというようなことが考えられます。

以上、簡単ですが、補足説明とさせていただきます。

【伊豆田座長】 どうもありがとうございました。

ただいまの事務局及び米倉委員からの説明について、ご意見、ご質問等があれば、よろしく願いいたします。いかがでしょうか。

【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】 はい、渡辺委員、どうぞ。

【渡辺委員】 ご説明、お二方ありがとうございました。

米倉委員の一番最後のところについてちょっとお聞きしたいんですけども、いろいろなリスク評価というものが行われていて、どれも関東地方の全体図をお示しされているんですけども、実際にイネが育てられているのは全域ではないということで、イメージとしては都市部ではイネは育てられていなくて、オゾン濃度は比較的低いというようなことがあるのかなというので、実は低下率はもっと高くなるのかなというふうにちょっと考えたりもするんですけども、実際にここで今示されている何パーセントというのは、農村地域といいますか、育てている地域における低下率ということではよろしいのでしょうか。

【米倉委員】 ご質問ありがとうございます。

この点は残念ながら、土地利用に関しては、この全ての研究では検討されていません。全体的な面としての影響について検討しています。ですので、今ご指摘があった部分というのは非常に重要な点ではございますけれども、現時点でのこれらのリスク評価においては、その点というのは考慮されていないというところであります。

【渡辺委員】 渡辺ですけれども、分かりました。

そうすると、やはり場所にもよると思いますが、もっと高い収量の低下が引き起こされているというようなことも考えられるということでしょうか。県によるかなというところがあるんですけども、いかがでしょうか。

【米倉委員】 それは実際にやってみないと分からない部分はあるんですけど、意外と色が濃い部分が、近い部分もあれば、全然違うところが濃くなっているような推定結果もありますので、それは実際にやってみないと分からないかなと思いますが、少なくともこれより下がるということは考えにくいかなというふうには、私個人的には思っているところです。

【渡辺委員】 分かりました。ありがとうございます。

【伊豆田座長】 ほかにございませんでしょうか。

【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】 山口委員、どうぞ。

【山口委員】 ご説明ありがとうございます。

最初のほうにご説明のありました FAC 試験の件で、空気の浄化に使われるフィルターというのは、これは活性炭フィルターとかが多いでしょうか。

【米倉委員】 そうですね。ほとんどが活性炭フィルターを使っています。山口先生もご存じかと思いますが、最近では活性炭ではなくて、いろいろなオゾン除去フィルターがありますけれども、当時はほとんどが活性炭フィルターの使用による研究というふうに私も認識しております。

【山口委員】 ありがとうございます。

そうすると、多分古い文献になってくると、多分 SO₂ とかも、もしかしたらまだ高い状

況でやっていたときの実験もあるのかなと思うので、オゾン濃度が文献に記載がないという段階で、定量的評価はなかなか難しいというお話ではありましたが、もしかしたら 1970 年代ぐらいのほうのデータであれば、少し SO₂ の影響も入ったデータとして出てきている可能性はあるかもしれないということですかね。

【米倉委員】 伊豆田先生に補足していただければ。

次の図を、これは浅川らの実験で、幸いにも硫黄酸化物も示されているんですけども、こういうふうにして丁寧にやっている研究では、こういうふうなものを示しているものもあります。

この実験ですと、硫黄酸化物の高濃度で、0.02 ぐらい、最高では 9 月の中旬ぐらいに 0.05 ぐらい出ているのかなというところ……。硫黄ですね。単位が違うので、0.5 ぐらいなんですかね。相当高いですね。これを見ると。²

今ご指摘のある点で、もしかしたらそういうのもあるかなと思いますが、ちょっともしあれでしたら、伊豆田先生に補足をいただければ。

【伊豆田座長】 多分 1970 年代とか 1980 年代初めぐらいまでは、確かに SO₂ の濃度が非常に高い。また、NO₂ の濃度も高いのですが、活性炭フィルターでは、SO₂ や NO₂ の除去率は意外と低くて、半分ぐらいしか除去できないという話もありますので、その頃の FAC 実験のデータを検討するときは、SO₂ 濃度や NO₂ 濃度のことを考慮に入れたほうがいいと思います。

【山口委員】 はい。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。ございませんか。よろしいですか。それでは、私から一つ質問です。オゾン感受性の品種間差異と種間差異の原因は、その後、ある程度解析が進んだのでしょうか。

【米倉委員】 伊豆田先生が一番ご存じかと思いますが、今出ている委員の方も大体ご存じかと思いますが、正直いうと、よく分からない、メカニズムなかも含めてなかなか分からないということはあるかなと思いますけど、皆さん、どうでしょう。

【伊豆田座長】 どうですかね。世界的にもそれほど進んでいないですかね、その辺の解析は。

【米倉委員】 そうですね。

【伊豆田座長】 気孔からのオゾン吸収量や活性酸素消去系に対するオゾンの影響はこの 30 年間ぐらいで研究はたくさんなされてきて、私たちもそういう研究をやってきたのですが、オゾン感受性の種間差異や品種間差異の原因やメカニズムを説明するような論文は世界的にもまだ出ていないのでしょうか。

【米倉委員】 と思います。非常に難しいと思います。

² 事務局による注釈：正確には、硫黄酸化物が最高濃度になるのは 9 月上旬頃で約 0.055ppm。

【伊豆田座長】 そうですね、分かりました。ありがとうございます。

【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】 はい。青野委員、どうぞ。

【青野委員】 国立環境研究所の青野です。

米倉さんと、あと、事務局の方、ご説明ありがとうございました。

米倉さんのパワーポイントの 22 枚目のところに、収量に対するオゾン感受性の品種間差ということで、イネの収量の AOT40 に対する相対値がそれぞれ出ているんですけれども、これを見ますと、ジャポニカ米の中で結構感受性が高いのはあきたこまちということでよろしいのでしょうか。

【米倉委員】 意外とあきたこまちではこの実験では高かったです。

ただ、まだいまだに複数年、これまではオープンに出ていないんですけれども、複数年、今 6、7 年ずっと同じようにやっているんですが、必ずしもこのようにあきたこまちが高感受性であるのかなというのは、ちょっと私は自信を持っては言えない部分があって、年によってもこの感受性の違いというのが結構ランキングが入れ替わったりしてしまっていて、だからこそ、複数年やった上で、何となく傾向というものを見ていかなきゃいけないのかなと。

その要因には、やっぱりオゾンのタイミングであったり、成長も早生だったり、晩生だったりというふうに、成長形態も若干違ってきたりするので、そのときのタイミングのオゾン濃度とか、そういうものもあるかと思うので、ちょっと一概には言えないですけれども、少なくともこの報告、これは 1 年間のレポートですけれども、1 年だけのレポートですと、比較的あきたこまちが落ちたというのはおっしゃるとおりでございます。

【青野委員】 ありがとうございます。

それで、はっきりは分からないんですけれども、あきたこまちはやっぱり秋田県で開発されてきているわけなので、秋田のほうだとオゾン濃度は低い状態なのかなと思いました。

それで、オゾン濃度はずっと低い中で開発されてきたあきたこまちと比べると、コシヒカリのような品種は埼玉県とか関東地方でもよく栽培されていると思うので、その品種間差もそうですし、実はその品種が開発された地域、お米を開発するときは浄化区をつくってやっているわけではないと思うので、もしかすると、そういう傾向があるのかなとこの図を見て思った次第です。

【米倉委員】 ありがとうございます。

ちょっとそれはとても難しく、例えばコシヒカリというのは、本来できたところというのはどこでしたかね。宮城だったかな。東北で開発されたものなんですね。それをこっちに持ってきて、例えば茨城とか、全国をほぼ、大体今でも 35%~40% ぐらいコシヒカリが植えられているので、それが全てが同じオゾン耐性を持っているのか、持っていないのか。むしろこれというのはどうなのかなというのは、その辺はちょっと私はよく分からな

いんですけれども、その地、その地で開発元は違っても、そういうふうには高濃度で育てられると耐性ができる、できないとかというのは、その辺はちょっと厳しい、その辺は非常に難しいお話かなと思うんですが、皆さん、むしろご意見をいただければと思います。

【伊豆田座長】 いかがでしょうか。

伊豆田ですが、恐らく、その品種が開発された場所なども当然関係するとは思いますが、その品種が何の品種と何の品種の交雑によって開発されたかという遺伝的なこともオゾン感受性に関係していると思います。

そういう意味では、埼玉県の種類がそこに入っていますよね。

【米倉委員】 彩のかがやきですね。

【伊豆田座長】 彩のかがやきです。先ほどのご報告から言いますと、やはり光化学オキシダントの濃度が非常に高いところは、日本で一番高いと言ってもいいのかもしれませんが、埼玉県ですよ、今、そこで開発されてきた彩のかがやきのようなイネがもともとオゾン感受性が低い可能性はありますか。

【米倉委員】 これはレポートに出ていないので、私の感覚ですけれども、そんなに弱くはないと。ただ、べらぼうに強いわけでもないというところはあるかなと思います。

【伊豆田座長】 この図では、彩のかがやきはどこですか。

【米倉委員】 上から3番目か4番目、三角の下のバツテンです。

【伊豆田座長】 これを見ると、感受性は比較的低いということになりますね。

ですから、オゾンが高いところで育ってきた品種や作られてきた品種というのはオゾン感受性がもともと低いということがあるのかなと思いました。

【米倉委員】 もしかすると、ブリーディングですから、選抜試験になってきますので、必然的に野外で育っているの、意図せず、そういうふうには成長のいいものをピックアップしてブリーディングしていく形になるので、そういう部分の選択がもしかしたら入っているかもしれないというのはあるかもしれません。

【伊豆田座長】 世界的にも、外国のイネかコムギなどでいろいろ調べられている結果があったような気がするのですが、ほかの委員の方で何かコメント等がありますでしょうか。

【山口委員】 長崎大学の山口です。

【伊豆田座長】 はい。どうぞ。

【山口委員】 今の、オゾン濃度の高いところで開発されたら強いんじゃないかという観点とはちょっとずれるんですけれども、たしか、伊豆田先生が最後におっしゃっていた、コムギの話ですと、昔の品種よりも最近の品種は収量が多くなってきていますけれども、その分気孔がよく開いているので、オゾン感受性が高くなってきているというような論文はありました。

基本的にはそういう意味では、収量が多いほうをセレクションされてきているのかなというふうには思っているの、もしかしたらオゾン濃度の高い時期に開発されたとか、高

い地域で開発されたものというのは十分考えられると思いますけど、冒頭に米倉委員がおっしゃったように、それは果たしてそうかというのを明らかにするのが難しいのかなという気はしています。十分調査していく必要があるのかなとは思っています。

ちょっとしたコメントですけど、よろしくをお願いします。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

ほかにコメントや質問はございますでしょうか。

【山口委員】 すみません。長崎大学の山口です。別件でよろしいですか。

【伊豆田座長】 はい。どうぞ。

【山口委員】 米倉委員のご発表の可視障害のところの話で、オゾンによって可視障害が出てしまうことが、私たちがよく着目している収量低下よりも、市場価値としてかなり下がってしまうので問題であるというお言葉があったと思うんですけど、それは非常に重要だと思っておりまして、そういった中で、最近、収量がオゾン濃度の増加に伴ってどういふふうに低下するかという、最後マッピングなさっていたようなリスク評価、そういったものをよくやっていますけれども、このオゾン濃度なり、オゾン曝露量に対する可視障害の発現の応答関数というのはありますでしょうか。

それから、恐らく解説にもありましたけれども、やっぱり瞬間的な濃度が高いということとかなり相関があるなというのは直感的にも感じているところで、最近ですと、オキシダントの対策でピーク濃度が少しずつ下がってきているはずなので、その辺のピーク濃度の経年変化のデータとか、その辺の情報というのはあつたりしますでしょうか。

一つは、可視障害のオゾン曝露量の応答関数みたいなものがありそうかどうかということです。

【米倉委員】 これは野内らの 1988 年の研究ですけど、この論文の中には応答関数みたいな線が引いてあるグラフがあります。今山口委員がおっしゃったように、高濃度、短時間のほうが可視障害に対しては影響が出やすいというものを重視し、オゾン濃度の二乗掛ける時間というオゾン指数を使って検討しているもので、多分応答式みたいなものというのは野内らの研究ぐらいかと。

ただ、これを先ほどのリスク評価にどう持っていくかは、非常に重要な部分だとは思いますが、次の話かなというところはあるかなと。

ですけれども、やはり今ご理解いただいたように、葉物野菜にとっては、もしかしたら成長よりは、可視障害の発現程度というのがリスクとしては大きいというようなこともどこか念頭に入れて、影響を検討しないといけない部分というのは強調したいなというふうに思います。

【山口委員】 ありがとうございます。図があるんですか、これは。

【米倉委員】 あります。

【山口委員】 フィッティングされているんですか。

【米倉委員】 これはちょっと今手元にないので、ちょっと曲がった、式。

【山口委員】 二乗なので。

【米倉委員】 シグモイドモデルというか、多分、伊豆田先生も何となくイメージされていると思うんですが。

【伊豆田座長】 この野内、高崎、戸塚（1988）の中にたしか図がありました。私の記憶が正しければ、非常に急激に可視障害が増えるようなラインが引かれていたと思います。

その図では、実際のプロットがされていたか、もしくはフィッティングカーブだけが書いてあったのか、ちょっと今は分からないのですが、論文を見れば載っていますので、確かめてみてください。

【山口委員】 はい。ありがとうございます。

【伊豆田座長】 本日の資料の3-1の引用文献に載っています野内、高崎、戸塚（1988）を見ていただければ分かると思います。

【山口委員】 はい。ありがとうございます。

それで、もしその式があるのでしたら、今であっても適用できるのかなと思ったので、最近、高濃度の濃度自体が少しずつ下がってきていたはずなので、そういったデータとかがもしあれば、昔のデータを使って、可視障害はどういうふうに発現の程度が変化してきているとか、そういうのはもしかしたら評価できるかなと思った次第です。

以上です。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。

ほかに質問、コメント等はございますでしょうか。よろしいでしょうか。

はい。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やご指摘がございましたらお願いいたします。何かございますでしょうか。

本日は農作物に対するオゾンの影響を中心にお話をしていただいたわけですが、その他、前のほうで検討した項目等でご意見やご指摘はございませんでしょうか。

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】 環境省、松浦でございます。

本日は活発なご議論をいただき、ありがとうございました。本日いろいろとご議論いただいた内容というのは、今後、植物影響を加味した環境基準の設定について検討していく上で、非常に重要な点であったと思っております。ありがとうございます。

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て、委員の皆様にご確認を後ほどいただきたいと思っております。その後、ホームページで公表する予定としておりますので、ご協力のほど、よろしくお願いいたします。

次回の第4回検討会では、オゾンによる樹木への影響に関する議事を予定しております。

委員の皆様には、資料の取りまとめに際して、またご協力をいただくこともあろうかと思
いますので、引き続きご協力を何とぞよろしくお願いいたします。

第4回検討会の具体的な日程等につきましては、また後日事務局で調整をさせていただ
きますので、こちらにつきましても併せてご協力のほどよろしくお願いいたします。

それでは、以上をもちまして本日の検討会を終了させていただきたいと思いを。長い
時間ありがとうございました。