

光化学オキシダント植物影響評価検討会  
第5回

(令和5年9月20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5回 会議録

1. 日 時 令和5年9月20日(木) 15:00～16:35

2. 場 所 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) 鈴木環境省水・大気環境局環境管理課汚染対策室長

松浦環境省水・大気環境局環境管理課課長補佐

福井環境省水・大気環境局環境管理課係員

築山環境省水・大気環境局環境管理課環境専門調査員

4. 議 題

- (1) 第4回光化学オキシダント植物影響評価検討会における主な指摘事項と対応
- (2) オゾンの植物影響を変化させる環境要因に係る知見の整理結果
- (3) 植物に対するパーオキシアセチルナイトレートの影響に係る知見の整理結果
- (4) 指標植物を用いた光化学オキシダントの調査事例について
- (5) その他

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 第4回光化学オキシダント植物影響評価検討会における主な指摘事項と対応

資料1別添1 日本の樹木へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理(案)  
【修正版】

資料1別添2 日本の森林衰退とオゾンとの関係(案) 【修正版】

資料2 オゾンの植物影響を変化させる環境要因(案)

- 資料3 植物に対するパーオキシアセチルナイトレートの影響（案）
- 資料4 指標植物を用いた光化学オキシダントの調査事例（案）
- 参考資料1 光化学オキシダント植物影響評価検討会（第4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 検討の進め方について（案）（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5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・大気環境局環境管理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WEB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。

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を使用せず、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、本日はご都合により、玉置委員におかれましてはご欠席とのご連絡をいただいておりますが、6名の委員にご出席をいただいております。

それでは、会議に先立ちまして、環境省水・大気環境局環境管理課汚染対策室長の鈴木よりご挨拶を申し上げます。鈴木室長、よろしくお願いたします。

**【鈴木室長】** 委員の皆様、ご多用の中、検討会にご出席いただきましてありがとうございます。

この検討会でございますが、昨年3月に第1回を開催して以降、これまで4回にわたる検討会でご議論をしていただけてきました。

本日は、議題でございますように、オゾンやパーオキシアセチルナイトレートの影響について中心にご検討いただきたいと思いますと思っております。本日も活発なご議論をどうぞよろし

くお願いいたします。

なお、環境省の水・大気環境局ですが、組織の再編がございまして、今まで総務課と大気環境局と二つの課にまたがって業務をしておりましたが、環境管理課というのが一つできまして、そこで環境基準、大気だけではなく土壌・水質一体的にやっていくということで、組織改編をしております。引き続き関係の皆様のご理解、ご協力をいただけましたら幸いです。よろしくお願い申し上げます。

【松浦課長補佐】 鈴木室長、ありがとうございます。

続きまして、本日の資料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のシリーズ、それから資料2～資料4、参考資料1～4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。

本日の議題ですけれども、本日は議題(1)として、第4回光化学オキシダント植物影響評価検討会における主な指摘事項と対応、議題(2)オゾンの植物影響を変化させる環境要因の整理結果、議題(3)植物に対するPANの影響の整理結果、議題(4)指標植物を用いた光化学オキシダントの調査事例となっております。

本日の資料及び議題の確認は以上となります。

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、伊豆田座長にお願いさせていただきます。伊豆田座長、よろしくお願いいたします。

【伊豆田座長】 よろしくをお願いいたします。

それでは、議事に入ります。

議題(1)第4回光化学オキシダント植物影響評価検討会における主な指摘事項と対応について、説明を事務局よりお願いいたします。

【松浦課長補佐】 事務局より、資料1についてご説明させていただきます。

前回、第4回の検討会では、資料2、日本の樹木へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理及び資料3、日本の森林衰退とオゾンとの関係についてご検討をいただきましたが、その中で資料の修正等を要するような質疑と、それに対する事務局の回答、対応をまとめたものとなっております。

まず、日本の樹木へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理について、ご説明させていただきます。

左側に番号を振ってありますけれども、1番～3番、それから、少し飛んで7番につきましては、表記の揺れであったり、用語等に関する指摘でありまして、ご指摘のとおり修正をしております。

4番につきましては、オゾンによる成長低下が報告された文献を列挙した箇所におきま

して、樹種を追記したほうがよいのではないかとのご指摘。

それから、5 番につきましては、研究ごとに成木と苗木の区別が分かるようにしたほうがよいのではないかとのご指摘で、いずれもご指摘に従いまして修正しております。

6 番のグラフの Y 切片が分かりにくいとのご指摘については、後ほど資料 1 別添 1 で改めてお示ししたいと思います。

それから、8 番の図中や、図の説明文での学名、和名に関するご指摘については、ご指摘のとおり、図中の樹種名を和名に修正しております。

それから、9 番の 5%という指標に関するご指摘につきましては、一般に欧州では 5%の成長低下をもたらす AOT40 等がクリティカルレベルとして用いられていることから、その指標を参考とした旨を追記しております。

その他、改めて気がついた細かな修正も加えております。

続きまして、日本の森林衰退とオゾンとの関係について、ご説明させていただきます。1 番のオゾンが衰退原因であること、またはないことが分かっていると誤解されるおそれがある表現になっているのではないかとのご指摘がございまして、それを受けまして、森林衰退は多数の要因が複雑に絡み合っていると思われまして、オゾン濃度であったり、オゾン吸収量が高いことだけをもって森林衰退にオゾンが関与していると結論づけることはできないことであったり、不確実性について、「1. はじめに」の部分であったり、「10. まとめ」の部分に追記をしております。具体的な追記内容につきましては、後ほど資料 1 別添 2 で簡単にご紹介したいと思います。

2 番ではオゾンの影響が樹種だけでなく森林の構成によっても変わってくることを書いてはどうかとのご指摘をいただきましたけれども、現時点で他樹種の存在によってオゾンの影響が変化する事例というのは立山黒部アルペンルートでの事例のみとなっておりますため、一般論として誤解されないような記載は難しいというふうに考えました。

一方で、先ほどと同じになりますけれども「1. はじめに」、それから「10. まとめ」の部分に森林の樹木の生育における複雑性に関する記載の追記等を行っております。

3 番は乾燥ストレスという表現に対するご指摘をいただいておりますけれども、調査された乾燥ストレスというのは様々でありまして、調査されたもののみを掲載すると、ほかの影響がないと誤解されるおそれがあるため、表中ではあえて「乾燥ストレス」としておりまして、詳細は文章の中に記述することといたしました。

4 番は学名が記載されている箇所と、記載されていない箇所があることに関するご指摘で、ご指摘に従いまして学名の追記を行っております。

こちらの資料につきましても、その他改めて気がついた細かな修正を加えております。

続きまして、修正版の資料をお示ししながら具体的な修正箇所を一部ご紹介したいと思います。

まず、資料 1 別添 1、日本の樹木へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理について、

になりますけれども、3 ページの真ん中辺りになりますけれども、資料 1 で先ほど申し上げた 4 番に対応する箇所になります、具体的な樹種を追記した箇所になります。

それから、3 ページの 72 行目は苗木と成木の区別がつくように追記した箇所の一つです。その他、様々な箇所に同様の追記を行っておりますが、ここでのご紹介は割愛させていただきます。

続いて、6 ページ、7 ページの図 1 及び図 2 について、Y 切片の違いが分かりにくいとのご指摘がありましたので、図 2 につきましては、Y 切片を 100 とした回帰直線を樹種ごとに示しているということを図のレジェンドであったり、少し戻っていただいて 5 ページ目の本文中、121 行目辺りになりますけれども、その辺りに追記しております。

続きまして、日本の森林衰退とオゾンとの関係ということで資料 1 別添 2 を用いまして具体的な修正箇所の一部をご紹介させていただきたいと思っております。

まず、2 ページ目の 24~28 行目辺りになりますけれども、先ほどの資料 1 の質疑の 1 番や 2 番と関連するものになりますけれども、25 行目辺りからを少し読み上げさせていただきますが、「森林衰退には様々な原因が複雑に関連しあうと思われ、オゾン濃度やオゾン吸収量が高いことだけで、森林衰退にオゾンが関与していると結論付けることはできない」といった文章を追記しております。

また、ページ飛びますけれども 8 ページのまとめの部分でも、ここでは読み上げはしませんけれども、森林衰退は様々な原因が複雑に関連しあって起こっていると考えられるということについて説明を追記するとともに、最後に、231 行目~233 行目辺りになりますけれども、「比較的高い濃度のオゾンが観測されている森林衰退地域の多くにおいては、オゾンの関与が否定できないものの、明確な因果関係は示されていないのが現状といえる。」というような文章を追記することで、森林衰退にオゾンが関与していると結論づけることはできないことや、その不確実性について説明を全体的に追記させていただきました。

資料 1 シリーズについてのご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、前回資料の 2 番、3 番の作成を主にご担当いただいた渡辺委員と黄瀬委員より、何か補足説明等はございますでしょうか。もしあればおっしゃってください。

**【渡辺委員】** 渡辺です。ご説明いただき、ありがとうございます。

私のほうからは特に追加の補足等はございません。

**【伊豆田座長】** ありがとうございます。

**【黄瀬委員】** 山梨大の黄瀬です。ご説明、ありがとうございます。

私からも補足はありません。ありがとうございます。

**【伊豆田座長】** はい、分かりました。ありがとうございます。

それでは、ただいまのご説明について、ご意見、ご質問があれば、よろしくお願ひいた

します。何かございませんでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、ご質問等がないようですので、議題(2)に移りたいと思います。

続いて、議題(2)ですが、オゾンの植物影響を変化させる環境要因の整理結果となりますが、こちらは資料の作成にご協力をいただいた山口委員より説明をお願いできればと思います。山口委員、よろしく願いいたします。資料の共有は山口委員のほうでお願いいたします。

【山口委員】 長崎大学の山口真弘です。資料の共有をしております。それから、音声のほう、大丈夫でしょうか。

【伊豆田座長】 はい、聞こえております。

【山口委員】 よろしく願いいたします。それでは、オゾンの植物影響を変化させる環境要因について、ご説明いたします。

これまでの会議でお話がありましたように、植物に対するオゾンの影響として、可視障害の発現、光合成能力の低下、成長や収量の低下などがございますが、こういったオゾンの影響というのは、オゾンが気孔を介して葉内に吸収されて引き起こされる。一方で、葉内には吸収されたオゾンを解毒する活性酸素消去系がございます。ですので、こういったオゾンによる影響の程度というのは、気孔を介したオゾン吸収量と、吸収されたオゾンの葉内における解毒量のバランスによって決まると考えられています。このことは、気孔開度ですとか、葉内の活性酸素消去系の活性を変化させる環境要因があって、もしそれが変動すれば、大気中のオゾン濃度が同じであっても、オゾンの影響の程度が変化するということを示しています。

そのような植物に対するオゾンの影響の程度が生育環境の違いによって変化するということは、これまで数多くの実験的研究によって報告されています。

例えば、光条件ですけれども、ハツカダイコンを対象とした研究で、弱光条件で栽培した個体の成長や光合成にオゾンの影響は認められなかったのに対し、強光条件で栽培した個体ではオゾンによって成長や光合成が低下したということが報告されています。

このようなオゾンの植物影響を変化させる環境要因として光強度のほかに、気温ですとか、大気や土壌の水分状態、大気から地表面への窒素沈着や施肥、大気中のCO<sub>2</sub>濃度、酸性雨、酸性の霧及び二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)などが報告されています。本資料では、これらの環境要因がオゾンの影響に及ぼす作用を報告した実験的研究のうち、日本の樹木や作物を供試植物とした研究を整理しましたのでご説明いたします。

まず、気温上昇がオゾンの植物影響に及ぼす作用について、ご説明いたします。

温度の変化というのは化学反応速度を左右しますので、例えば光合成ですとか、呼吸などの代謝反応に強く影響します。したがって、気温の変化というのは、葉内へのオゾン吸収量ですとか、オゾンの解毒能力の変化をもたらすと考えられますので、研究数は非常に限られてはいますが、植物に対するオゾンの影響を変化させる要因として気温を

取り上げた実験的研究が報告されています。その中で日本の作物の成長に対する影響に及ぼす気温上昇の作用を評価した実験的研究を表1にまとめておりますけども、そのご説明をいたします。

まず、ハツカダイコンを対象とした研究では、オゾンによる成長低下が気温の上昇によって著しくなるということが報告されています。同様に、このハツカダイコンに対するオゾンの影響というのは、気温が高い条件で発現しやすい、いわゆるオゾン感受性が高くなるということが報告されています。

イネを対象とした研究では、成長や収量に対する影響ではないんですけども、オゾンによる玄米の外観品質の低下、これが気温上昇によって著しくなるということが報告されています。

このようなオゾンの影響を助長するような作用、これは品種によって異なるということも報告されておまして、そのオゾンの影響が気温上昇によって変化しない品種もございます。

次に、土壌乾燥ストレスがオゾンの植物影響に及ぼす作用について、ご説明いたします。

一般に乾燥条件に置かれますと、植物は葉からの水分損失を防ぐために気孔を閉鎖しますので、例えば、大気湿度の低下ですとか、降水量の減少などに伴う土壌の乾燥、これらによって葉内へのオゾン吸収量が低下すると考えられますので、植物に対するオゾンの影響を変化させる要因として、土壌乾燥ストレスを取り上げた実験的研究が報告されています。

その研究のうち、日本の樹木及び作物を対象としたものを表2にまとめておりますが、それらをご説明していきます。

日本の樹木を対象としたものでは、ブナを対象としたものがございます。この研究ではオゾンによるブナの肥大成長の低下程度ですとか、翌年の成長に及ぼす悪影響の程度というのは土壌乾燥ストレスによって変化しないということが報告されていますが、オゾンによるブナの純光合成速度の低下は、土壌乾燥ストレスによって緩和されるということも報告されています。

このような土壌乾燥ストレスによるオゾンの影響の緩和・相殺作用というのは、ダイズの収量においても報告されておりますし、海外の研究事例をメタ解析した報告においても、オゾンによるコムギの収量低下は、乾燥ストレスによって緩和されるということが報告されています。ですが、同じコムギやダイズを用いた別の研究では、オゾンの影響は土壌乾燥ストレスで変化しないということも報告されておりますので、こういったオゾンの影響に対する土壌乾燥ストレスの作用というのは、栽培条件によって異なる可能性が考えられます。

次に、土壌窒素負荷または施肥がオゾンの植物影響に及ぼす作用についてご説明いたします。

化石燃料や化学合成肥料の消費によって大気中に放出される NOx やアンモニアなどの反応性窒素、これらは、最終的には森林や農地へ沈着します。窒素というのは植物の多量必須元素ですので、その土壌への窒素沈着量の増加というのは、光合成活性の上昇ですとか、気孔開度の上昇を引き起こすほかに、葉内の活性酸素消去系の活性を上昇させる可能性も考えられています。もちろんこのような変化は施肥によってももたらされる可能性が十分に考えられます。

一方で、土壌への過剰な窒素沈着というのは、植物の栄養バランスの悪化や土壌酸性化を引き起こして間接的に影響を及ぼすということから、光合成や活性酸素消去系の活性を変化させると考えられます。

このように大気から土壌への窒素沈着量の増加ですとか、施肥というのは、植物に対するオゾンの影響を変化させる可能性があるというところで、それを取り上げた実験的研究が報告されています。その実験的研究のうち日本の樹木や作物を対象とした研究を表 3 にまとめておりますけども、それについてご説明していきます。

日本の森林樹種を対象とした実験的研究としては、コナラ、ブナ、スダジイ、カラマツ、アカマツ及びスギの 6 樹種を対象とした研究がございます。これらの報告では、ブナにおいては、オゾンによる成長低下が土壌への窒素負荷によって著しくなるのに対しまして、カラマツにおいては、オゾンによる成長低下が窒素負荷によって緩和されるということが報告されています。一方で、それ以外の樹種であるコナラ、スダジイ、アカマツ及びスギにおきましては、オゾンによる成長低下の程度は土壌への窒素負荷によって変化しないということが報告されておまして、オゾンの影響に対する土壌への窒素負荷の作用というのは、樹種によって異なると考えられます。

一方で、今、窒素負荷によってオゾンによる成長低下が顕著になるという、ブナですけども、この成長に対するオゾンの悪影響というのが施肥の場合は緩和されるという報告もございまして、同じ樹種であっても、その作用というのは、例えば窒素以外の栄養状態ですとか、気象条件などによって異なる可能性が考えられます。

施肥の作物に対するオゾンの影響に対する作用ですけども、これはイネを用いた研究が報告されています。その研究では、窒素負荷を行わなかった栽培条件では、オゾンによるイネの成長や収量の低下が認められないということに対して、窒素施肥を行った栽培条件では、オゾンによる成長低下が認められるというオゾンの影響の施肥による助長作用が報告されています。一方で、海外の研究事例を包括的に解析した論文では、コムギの収量に対するオゾンの影響というのが顕著になると、施肥によって顕著になるということが示されています。

このように作物を対象とした研究では、施肥によってオゾンの影響が顕著になる可能性が高いと考えられますけども、研究例が限られているというのが現状です。

次に、二酸化炭素濃度の上昇がオゾンの植物影響に及ぼす作用についてご説明いたしま

す。

植物は葉の気孔を介して CO<sub>2</sub> を葉内に吸収しますが、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度が上昇するなどして光合成への CO<sub>2</sub> 供給が十分になりますと、水分損失を防ぐために植物は気孔を閉じます。ですので、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の上昇によって葉内へのオゾン吸収量が減少すると考えられますので、植物に対するオゾンの影響を変化させる要因として、大気 CO<sub>2</sub> 濃度をとり上げた実験的研究が報告されています。

その報告のうち日本の樹木及び作物を対象とした研究を表 4 にまとめております。日本の森林樹種を対象とした実験的研究では、シラカンバ、ダケカンバ、ブナ、アカマツ及びスギの 5 樹種を対象とした研究がございまして、現状の CO<sub>2</sub> 濃度環境では、オゾンによってシラカンバの成長が有意に低下するのに対して、高濃度 CO<sub>2</sub> 環境においては、その低下が認められないという、オゾンによる影響の程度が大気 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇によって相殺されるということが報告されています。同様の相殺作用がグイマツ雑種 F<sub>1</sub> の幹の肥大成長においても認められています。

しかしながら、シラカンバ以外の 4 樹種の成長に対するオゾンの影響は、大気 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇によって変化しないということも報告されておりますし、その他の研究論文でカバノキ属 3 種や、スギの複数の品種を対象とした研究においても、オゾンの影響は大気 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇によって変化しないということが報告されてございまして、やはりオゾンの影響に対する高濃度 CO<sub>2</sub> の緩和・相殺作用には、樹種間差異があると考えられます。

一方で、高濃度 CO<sub>2</sub> 環境で育成したコナラやミズナラ、ブナの成長がオゾンによって促進されるという報告もございまして。このような高濃度 CO<sub>2</sub> 環境におけるオゾンによる成長促進というのは、オゾンによる影響への補償的応答として生じた葉への乾物分配の増加に加えて、高濃度 CO<sub>2</sub> による葉の光合成促進の影響、それが相乗的に作用することによって引き起こされたのではないかと考えられています。

異なる大気 CO<sub>2</sub> 濃度環境で栽培した日本の作物に対するオゾンの影響を評価した研究は非常に限られているわけですが、ハツカダイコンとコマツナを対象としたものがございまして。成長影響については、オゾンの影響の程度は高濃度 CO<sub>2</sub> によって変化しなかったという報告になっておりますが、葉面積に着目しますと、そのオゾンによる低下というのは、高濃度 CO<sub>2</sub> によって緩和されるということが報告されています。

海外の研究事例になりますが、それをメタ解析した論文では、オゾンによるコムギの収量低下というのは、高濃度 CO<sub>2</sub> によって緩和されるということが報告されています。このように高濃度 CO<sub>2</sub> によってオゾンの影響は緩和及び相殺されますけれども、その作用は植物種によって異なるだろうと考えられます。

最後に酸性雨、酸性霧及び二酸化硫黄がオゾンの植物影響に及ぼす作用についてご説明いたします。

これらの研究報告では、スギ、ウラジロモミ、シラカンバ及びケヤキの根に対する地上

部の乾重量の比、これがオゾンによって増加するわけですが、その増加程度が酸性雨によって顕著になるということですか、ブナやケヤキ、ドロノキ及びシラビソのオゾンによる個体乾重量の低下が、酸性の霧によって顕著になるということが報告されています。ですが、このようなオゾンの影響を助長するような作用というのが認められない樹種も数多くございまして、やはりオゾンの影響に及ぼす酸性雨や酸性の霧の作用には、樹種間差異があると考えられます。

SO<sub>2</sub>についても同様に樹種間差がございまして、ブナの個体乾重量やヤマザクラの根の乾重量のオゾンによる低下が SO<sub>2</sub> 曝露によって顕著になる一方で、アカマツの個体乾重量やウメの葉の乾重量のオゾンによる低下というのが SO<sub>2</sub> 曝露によって緩和されるということも報告されています。この SO<sub>2</sub> の場合は少し複雑なんですけども、この SO<sub>2</sub> の作用というのは、曝露濃度によって異なるという樹種もございまして、ストローブマツ、カラマツ、ウラジロモミ、シラカンバ及びユリノキのオゾンによる個体乾重量の低下、これは 20ppb までの SO<sub>2</sub> によっては顕著になるのに対して、40ppb の SO<sub>2</sub> によっては緩和されるということも報告されています。

以上より、本資料では気温上昇ですとか、土壤乾燥ストレス、窒素負荷や施肥、CO<sub>2</sub> 濃度上昇、酸性雨、酸性霧及び SO<sub>2</sub> がオゾンの植物影響に及ぼす作用を報告した実験的研究をまとめて、日本の樹木や作物を対象としたものをまとめてまいりました。これらをまとめますと、オゾンの植物影響というのは気温上昇、酸性雨及び酸性霧によって顕著になるのに対し、土壤乾燥ストレスや大気 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇によって緩和・相殺されると考えられます。一方で、土壤への窒素負荷や施肥、または SO<sub>2</sub> の作用としてオゾンの影響が緩和される植物種がある一方で、助長される植物種も報告されています。

これまでご説明してきましたとおり、植物に対するオゾンの影響の程度は他の環境によって変化すると。その変化というのは環境要因の種類によって異なっておりますが、同一の環境要因の変動であっても、その程度や植物種、栽培環境によってオゾンの影響に及ぼす作用は異なっていると考えられます。

ご説明は以上です。

【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。

【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、どうぞ。

【渡辺委員】 説明、ありがとうございます。

ちょうど今映っているまとめのところでちょっと気になったところなんですけれども、この文で 175 行目ぐらいからですね。「それらの研究結果に基づくと」というところで、ある程度、こうなるよという形で、緩和されるとか顕著になると考えられると言いつつ、

その後半の部分では、作用は異なるというような形で少し、何というんですかね、矛盾まではいかないんですけども、前半の部分が割と、例えば、気温が上昇するとオゾンの影響が顕著になるというふうに言ってしまうている感じをちょっと覚えたんですね。ですので、少し書き方の工夫だけだとは思いますが、そういう種があるとか、そういう報告があったとか、何か少し限定があると、実際、その上の本文の部分に対してちょうどつり合うようなまとめになるのかなというふうに思いました。

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。

【山口委員】 ご指摘、ありがとうございます。

おっしゃるとおり、やっぱり研究例も限られている部分もございますし、表現はもう少し工夫する必要があるなという中で、最後ちょっと矛盾するような書き方をしてしまいましたが、もう少し書き方を工夫したいと思います。ありがとうございました。

【伊豆田座長】 よろしく願いいたします。

ほかにご質問等、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】 はい、どうぞ。

【黄瀬委員】 ご説明、ありがとうございます。

最近、農工大でブナに対してオゾン、CO<sub>2</sub>、窒素の複合処理の実験をされていて、それが最近論文になってきているので、その辺りも可能なら載せてみてはいかがでしょうか。

【山口委員】 ありがとうございます。はい。そうですね、3者複合ですので、はい、どうしましょうか。

【伊豆田座長】 その論文は、2022年に出版されたWatanabe et alですかね。

【山口委員】 はい。Watanabe et alですね。はい。

【伊豆田座長】 「Environmental Pollution」ですね。その論文をもし掲載できるならば、一番最新なので良いと思います。

【山口委員】 最新ですね。

【伊豆田座長】 掲載していただきましょう。

【山口委員】 分かりました。3者複合の場合は、どう書きましょうかね。もう一つ項目を、まあ、でもはい、ぜひ追加したいと思います。

【伊豆田座長】 そうですね。3者複合は、おそらく世界的にもほかに研究がないと思いますので、一つ新たに項目を立てて書くほど論文がないと思います。

【山口委員】 そうですね。

【伊豆田座長】 ですから、どこかにこの論文の内容を記述してください。

【山口委員】 じゃあ、まあ、CO<sub>2</sub>のところと窒素のところと。

【伊豆田座長】 そうですね。

【山口委員】 で、まあ、ただし書ですね。3者複合の実験であるみたいな、そういった書き方をしたいと思います。

【伊豆田座長】 よろしくお願ひいたします。

【山口委員】 ありがとうございます。

【黄瀬委員】 書き方、難しいですが、すみませんが、よろしくお願ひします。

【山口委員】 いえ、ありがとうございます。

【伊豆田座長】 ほかにご質問、ご指摘はございますか。

どうぞ、米倉委員、どうぞ。

【米倉委員】 ごめんなさい。大丈夫ですか、聞こえますか。失礼しました。

3の土壤乾燥ストレスの項目の最後の1文なんですけど、オゾンの影響に対する乾燥ストレスの作用は栽培条件によって異なる可能性が考えられるというふうな表記なんですけど、多分、この栽培条件というのは土壤の乾燥程度みたいな、土壤の乾燥度合いが違うためという意味合いでお示しになられているのでしょうか。もしそれであれば、栽培条件、土壤の乾燥程度みたいなちょっと具体的な形で示したほうがいいのかなど思ったんですが、いかがでしょう。

【山口委員】 ありがとうございます。おっしゃるとおり、乾燥ストレスの程度も含めています。実際、その比較をしようと思ったんですが、土壤の含水率の指標がばらばらでなかなか統一して比較できないという難しさがありまして、そういう意味で、そのストレス、乾燥ストレスの程度は違うというのは一つ含めています。

ただ、それ以外の環境要因も全然異なっていますので、それも含めてちょっと、何か大ざっぱになってしまいましたけど、書きました。そういう意味では、そうですね、土壤乾燥ストレスの程度が異なるかどうか、実際、水分含量の指標が全然違うので、異なるかどうか分からないので、ちょっとそこまで具体的には書いてないというのが正直なところですよ。

【米倉委員】 私のも入っているんで、おっしゃることはよく分かるんですけど、例えば、でも、ほぼほぼそういうのが結構影響している、あるので、例えば土壤の乾燥程度などの栽培条件によって、少なくとも可能性がある、考えられるというところでお示ししているんで、一つ挙げてもいいかな、挙げなくてもいいかな、その辺ちょっとご検討いただければと思います。

【山口委員】 ありがとうございます。ぜひ書きたいと思います。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。

ほかにご質問、ご指摘はございませんでしょうか。

【青野委員】 青野ですけども、よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 はい、どうぞ。

【青野委員】 国立環境研の青野です。

おまとめ、ありがとうございました。6.のところなんですけど、ここ、酸性雨、酸性霧及び二酸化硫黄がオゾンの植物影響に及ぼす作用というところがあって、この内容は書いてあるんですけど、5.までのところというのは、どうしてちょっと作用が変わってくるのかということがちらっ、ちらっというか一つ非常に簡潔に書いていただいていると思うんですね。例えば、5.のところではCO<sub>2</sub>が増えると、CO<sub>2</sub>供給が十分になると水分損失を防ぐために気孔を閉じるというようなことが最初に書いてある。4.だと、窒素が多いときなんですけど、これが植物の多量必須元素なので、光合成活性を上昇して気孔開度の上昇を引き起こすというような、ちょっと簡単な一言が書いてあるんですけど、6.のところは、その記述というのが、もし可能だったら一言冒頭に書いていただければなと思ったんですけど、いかがでしょうか。

【山口委員】 ありがとうございます。この6.の複合影響の実験の背景としては、酸性雨ですとか二酸化硫黄がまだ問題になっていた頃に、その複合影響があるだろうという中で行われてきたものなんで、そうですね、その大気汚染の状況が背景になるので、オゾンの影響を変化させようだということの中で背景にはちょっとなくなってしまうんですけども、そうですね、その背景的な一文はぜひ入れたいと思います。ちょっとともともと、そうですね。はい。

【青野委員】 そうですね。確かにちょっと過去の汚染物質にはなるかなと思うんですけども、並びとしてもし入れられて、入れていただけるようだったらお願いできればなと思いました。

【山口委員】 ありがとうございます。そうですね、あと、単独影響としてやっぱりシビアな酸性度じゃなければ、施肥効果があるとか、そういったことはよく知られているので。

【青野委員】 そうですね。

【山口委員】 そういったことを書けば、窒素負荷と同じような背景が書けるかなと思いますので、ぜひそのように検討したいと思います。

【青野委員】 ありがとうございます。

【山口委員】 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。

ほかにご質問、ご指摘はありますか。よろしいでしょうか。

【渡辺委員】 すみません、東京農工大学の渡辺です。

【伊豆田座長】 どうぞ。

【渡辺委員】 今ちょうど青野委員からのコメントと山口委員の回答のところを聞いていて思ったんですけども、今回の何らかの植物生理的なのというか、そういう背景を書く場合に、現時点での知見を基に、こういうことが考えられるということを使うのか、当時というか、その論文のイントロダクションとしてそういったものが書かれているのかで、どうまとめるかというのがちょっと違いが出てくるのかなと。当時はそういうことを、山口

委員がおっしゃっていたように、単純に SO<sub>2</sub> 濃度が高くてオゾン濃度が高くて、両者を併せましょう、併せて調べましょうという形で取り組んでいるのか、何か、何らかの植物体内における相互作用があるということを前提にやってるのかというのをちょっと今回の報告書という意味で書きぶりとしては少し表現なんかも含めて気をつけたほうがいいのかなというふうに思いました。私自身も書くほうがいいな、書かれているほうがいいなとはちょっと思ってますけれども、今の知見を背景に持ってきちゃうと、ちょっとおかしいなとか、ちょっと時間軸も合わなくなるので、その点はちょっと気をつけたほうがいいのかなというふうに思いました。

以上です。

【山口委員】 ありがとうございます。そうですね、全体的な書きぶりも含めて、検討していきたいと思えます。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。ほかにご質問、ご指摘はございますでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、議題(3)のほうに移りたいと思えます。議題(2)、ありがとうございました。

【山口委員】 ありがとうございました。

【伊豆田座長】 続きまして、議題(3)の植物に対するパーオキシアセチルナイトレートの影響の整理結果となりますが、こちらは、主に、私、伊豆田が作成しましたので、私から説明をさせていただきます。資料3をご覧ください。

それでは、植物に対するパーオキシアセチルナイトレートの影響を説明いたします。PAN と呼ばれているパーオキシアセチルナイトレートは、光化学オキシダントを構成する酸化性物質の一つで、植物毒性が高いガス状大気汚染物質です。

PAN の植物影響に関しては、1944年にアメリカのロサンゼルス地域で、レタスやハウレンソウなどの農作物の葉の裏面に光沢化、ブロンズ化、または銀白色化と呼ばれる可視障害が発現しました。この葉の裏面の可視障害を引き起こす原因物質が PAN であることが証明されたのは 1960 年でした。その後、アメリカでは 1960 年代～70 年代にかけて、農作物に対する PAN の影響に関する実験的研究が行われました。

一方、日本においては、PAN の植物影響に関する研究は極めて限られていますが、1970 年代～1990 年代にかけて、東京都公害研究所、後の東京都環境科学研究所、農業環境技術研究所、東京都農業試験場、国立公害研究所、後の国立環境研究所、そして東京農工大学などで実験的研究が行われました。

次に、PAN による葉面可視障害の発現について説明いたします。一般に、PAN は葉の裏面に可視障害を発現させます。この理由として、PAN は葉の海綿状組織の細胞を選択的に攻撃するためであると考えられています。PAN による葉の特徴的な被害症状は、健全な下表皮細胞とその内側の海綿状組織細胞の着色した壊死細胞との間にできた大きな空隙、隙間ですが、その空隙によって光が散乱した結果であると考えられています。

植物が PAN 被害を発現するには、曝露前、曝露中及び曝露後に光の照射が必要であり、これらのどこかを暗黒にすると可視障害は抑制されます。PAN による葉の可視障害発現に光が必要である理由は明らかにされていませんが、光が抗酸化防御機構を破壊するフリーラジカルの生成の開始剤になっている可能性が指摘されています。

それでは、次に葉の可視障害と大気 PAN 濃度の関係を説明いたします。

野内(1979)は、ペチュニアの白色系品種であるホワイトエンサインに PAN を曝露し、葉の可視障害を調査いたしました。その結果、ホワイトエンサインの葉の被害発現閾値は、1 時間の PAN 曝露では 32ppb であり、3 時間の曝露では 14ppb、8 時間の曝露では 7ppb でした。

寺門と久野(1984)は、1974 年～1977 年に東京都立川市において、野外または Filtered Air Chamber 内に植えたペチュニアのホワイトエンサインを用いて、PAN による葉の被害発現と大気 PAN 濃度との関係を調べました。その結果、大気 PAN 濃度が 2ppb 未満の場合は、ホワイトエンサインの葉の被害発生率は 20%以下でしたが、3ppb 以上になると、葉の被害発生率は 80%以上になり、ホワイトエンサインにおける PAN による葉の被害発現の限界濃度は 3ppb 前後であると推測されました。

ペチュニアにおいて、PAN に対して最も感受性が高いのは、未成熟の若い葉でした。これは、先端から第 2 葉～第 6 葉辺りの葉で一番感性が高いという結果でございました。また、ペチュニアの PAN 感受性の品種間差異を調査したところ、白花系品種であるホワイトエンサインは、青花系や赤花系の品種に比べて PAN 感受性が高いことが報告されています。

野内ら(1984)は、東京都有楽町において、1976 年～78 年及び 1982 年～83 年 4 月初め～11 月末日までの約 8 か月間にわたり、野外で生育させたペチュニアのホワイトエンサインの葉の被害と、大気中の PAN 濃度との関係を調査しました。その結果、ホワイトエンサインにおける葉の可視障害の発生率は、PAN の日最高濃度または一日の曝露量の増加に伴って増加しました。野外においては、ペチュニアに葉の被害が発現する可能性がある PAN 濃度は、日最高濃度で 4ppb であり、一日の曝露量で 20ppb・h 程度でございました。

また、Izuta ら(1993)は、ペチュニア、インゲンマメ及びハツカダイコンに自然光型ファイトトン内で 10、30 または 60ppb の PAN を一日当たり 4 時間で 3 日間曝露しました。その結果、ペチュニアとインゲンマメにおいては、30ppb または 60ppb の PAN 曝露によって葉に可視障害が発現しましたが、ハツカダイコンでは、いずれの濃度の PAN 曝露によっても葉に可視障害は発現しませんでした。

次に、葉の可視障害と気孔からの PAN 吸収の関係を説明いたします。Okano ら(1990)は、気孔を介した葉の PAN 吸収速度と、葉の可視障害の程度に基づく PAN 感受性を調べるために、9 種類の植物にチャンバー内で 50 または 100ppb の PAN を 5 時間曝露しました。その結果、葉による PAN の吸収速度は 120 分間の明条件下ではほぼ一定レベルに保たれましたが、暗条件下では急速に低下し、30 分～45 分以内にほぼゼロに達しました。これらの結

果は、葉の表面への PAN の吸着は非常に小さく、そのほとんどが開いた気孔を通して葉内に吸収されることを示唆しています。しかしながら、9 種の植物において、気孔を介した葉の PAN 吸収速度と葉の可視障害の程度に基づいた PAN 感受性との間に相関はありませんでした。

この結果より、PAN 感受性における種間差異を決定する要因は、気孔を介した葉の PAN 吸収速度ではなく、葉内のいくつかの代謝プロセスにおける PAN 感受性であると考えられます。

次に、植物の成長に対する PAN の影響を説明いたします。植物の成長に対する PAN の影響に関する知見は極めて限られています。Izuta ら(1993)では、ペチュニア、インゲンマメ及びハツカダイコンに 10、30、または 60ppb の PAN を一日当たり 4 時間で 3 日間にわたって曝露しました。その結果、30 または 60ppb の PAN 曝露によって、ペチュニアとインゲンマメの乾物成長は低下しましたが、ハツカダイコンの乾物成長は有意な影響を受けませんでした。ペチュニアとインゲンマメにおいては、PAN による個体乾重量の低下率と、純同化率の低下率との間に正の相関が認められました。この結果は、PAN によるペチュニアとインゲンマメの個体乾物成長の低下は、葉における同化産物の生産効率の低下が原因であることを示唆しています。

次に、植物の生理機能に対する PAN の影響を説明いたします。光合成における PAN 感受性は、他の生理生化学的機能における PAN 感受性に比べて高いことが報告されています。野内(1988)は、インゲンマメに 95ppb の PAN を同化箱内で 4 時間曝露した結果、葉に水浸状症状の可視障害が発生しない間は純光合成速度と蒸散速度は低下しませんが、葉に水浸状症状が拡大すると急激に純光合成速度と蒸散速度が低下したことを報告しています。この結果は、PAN が葉に可視障害症状を発現しない間は、気孔の開き具合に影響しないことや、PAN 曝露終了後でも葉緑体の構造を破壊することを示唆しています。

Izuta ら(1993)は、ペチュニアのホワイトチャンピオンの純光合成速度は 30 または 60ppb の PAN を一日当たり 4 時間で 3 日間曝露すると有意に低下したことを報告しています。このとき、PAN 曝露によって、ペチュニアの光・光合成曲線の初期勾配である量子収率と光飽和純光合成速度は有意に低下しました。また、暗呼吸速度は 60ppb の PAN 曝露によって有意に低下しましたが、CO<sub>2</sub>、気孔拡散抵抗に有意な影響は認められませんでした。これらの結果は、PAN によるペチュニアの純光合成速度の低下の原因は、気孔閉鎖ではなく、主に葉緑体における光合成能力の低下であることを示唆しています。

また、Nouchi と Toyama(1988)は、インゲンマメに 100ppb のオゾンチャンバー内で 8 時間曝露したところ、PAN 曝露開始から 4 時間までは葉に可視障害は発現しませんでした。リン脂質、糖脂質及び全脂肪酸の含量はほとんど変化しなかったことを報告しています。

これに対して、PAN 曝露開始 6 時間目には、葉に水浸状症状や萎れ症状が現れ始め、リ

ン脂質と糖脂質の含量が減少し、全脂肪酸含量の減少とともにマロンジアルデヒドの含量が増加しました。マロンジアルデヒドは、生体内で不飽和結合を二つ以上持つ多価不飽和脂肪酸が活性酸素種によって非酵素的に酸化されると生成されるため、酸化ストレスの指標です。これらの結果から、PAN は、葉緑体のチラコイド膜の脂質を直接的に攻撃し、膜構造の崩壊と細胞死を導いていると推定されます。

さらに、野内(1988)は、PAN によるクロロフィルと脂肪酸の分解及びマロンジアルデヒドの生成がスーパーオキシドアニオン( $O_2^-$ )に起因しているが、極性脂質の分解には活性酸素種は関与していないことを報告しています。これらの結果は、PAN の酸化的作用が少なくとも二つの経路で進行していることを示しています。すなわち、初期ステージでは、極性脂質に対する酸化剤としての PAN の作用であり、後期ステージでは、クロロフィルと脂肪酸に対する酸化剤としてのスーパーオキシドアニオンの作用です。PAN は、酵素のチオール基(SH 基)、チオール基や含硫アミノ酸のようなイオウを含む低分子の化合物と強く反応し、S-S 結合や S-acetyl 基を生成します。チオール基を持たない酵素は PAN による影響を受けませんが、活性発現にチオール基が関与している SH 酵素の活性は PAN 曝露によって阻害されることが報告されています。

それでは、最後にまとめです。光化学オキシダントの主成分であるパーオキシアセチルナイトレートは、葉に存在する気孔を介して葉内に吸収され、ペチュニアなどの感受性が高い植物種においては、葉に可視障害を発現させ、成長や光合成などの生理機能を低下させます。したがって、PAN は今後、光化学オキシダントの植物影響などを検討する際に考慮する必要があるガス状大気汚染物質です。

以上で、植物に対する PAN の影響に関する説明を終わりにいたします。ありがとうございました。

それでは、ただいまの植物に対するパーオキシアセチルナイトレートの影響に関する説明について、ご意見、ご質問等があればよろしく願います。ご質問、ご指摘はございませんでしょうか。

【青野委員】 すみません、青野ですけれども。

【伊豆田座長】 はい、どうぞ。

【青野委員】 青野です。ありがとうございました。

ちょっと本質とあんまり関係ないところで恐縮なんですけども、66 行目の最後のほうで、東京都立川市にて野外または FAC 内にといい、この FAC というのはどこかほかの場所に説明があるんですけど。

【伊豆田座長】 曝露装置の説明のところに入っていましたか、山口委員、どうでしたかね。

【山口委員】 はい、入っていたはずです。

【伊豆田座長】 たしか入っていましたよね。

【山口委員】 はい、そうです。

【青野委員】 ありがとうございます。そしたら、取りまとめて略語が出てきても問題ないということで。

【伊豆田座長】 そうですね。

【青野委員】 はい、承知しました。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。

ほかにご質問、ご意見等はございますでしょうか。

【渡辺委員】 すみません、農工大の渡辺です。

【伊豆田座長】 はい、どうぞ。

【渡辺委員】 今のところとちょっと近かったんです。表記の話なんですけど ppm と ppb が両方出ていて、恐らく元の論文の表記をそのまま採用されているのかなと思うんですけど、例えば3 ページ目の一番下のところですね。口頭では ppb に置き換えてお話ししていただいていたと思うんですけども、特に差支えがないようであれば ppb として統一したほうが読みやすいのかなというふうに思いました。有効数字的にも特に問題ないので、いいのかなというふうに思ったんですけども、いかがでしょうか。

【伊豆田座長】 私もそう思いましたので、今日の先ほどの発表では、全て ppb 表記で発表させていただきました。3 ページの野内(1979)の論文では、元の論文にはこのように ppm 表示になっておりますが、特に問題なければ ppb に統一するとしてもよいと私は考えておりますが、いかがでしょうか。

よろしいでしょうか。

それでは……。

【松浦課長補佐】 環境省の松浦ですけども、ご質問、コメント等ありがとうございます。

ちなみに、これまでの検討会の資料につきましては、基本的には原著に記載してある数字と単位をそのまま掲載するという方針でこれまでまとめてきておりますので、もしそろえたほうがよいということでしたら、取りまとめに際しては全体的にそこの部分を修正する必要があるかなと思っておりますけれども、それを踏まえた上でご意見をいただければと思います。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。そうですね。そうしますと、全部変えるのは何ですので、ここの部分に ppb を一つ入れておきますか、この括弧の中に。そういうやり方で対応するか、どうですか。基本的には原著論文に載っている状態の濃度表記で書きたいと思いますが、少し補足で括弧の中で ppb にしたときの表示をしてもいいかなという感じはしますが、いかがでしょうか。

【松浦課長補佐】 環境省、松浦です。

そうしましたら、そういう方向で検討させていただきたいと思います。恐らく全ての場所に括弧でつけるということではないと思いますので、つけるべき場所につきまして、ま

た先生方とご相談させていただきながら、括弧で ppb をつけるというところで修正してみたいと思います。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。そういうふうにさせていただきます。

【渡辺委員】 ありがとうございます。

すみません。あと2点ほど続きであるんですけど、ちょっと気になったところということなんですけれども、4ページ目の一番下の行、98行目なんですけれども、暗条件下では急速に低下しという表現で、明るい条件では一定だったが、暗条件下では低下しというところで、この図を見ると分かるんですけども、暗条件下に切り替えると急速に低下するということですよ、恐らく図を見る限りは。何というんですかね、暗条件下でずっと安定させるというようなイメージが、明るい条件だところで、暗い条件だところでという二つの条件設定があるようなイメージだったときに、ちょっとその言葉が動的な表現になったので、少し混乱するかなというところがあったので、切り替えたというようなイメージが湧くような表現だといいいのかなというふうに思いました。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。おっしゃるとおりですね。そっちのほうがこの図に即した表現が適していると思いますので、そういうふうに変えたいと思います。ありがとうございます。

【渡辺委員】 最後一点、図4なんですけれども、Control という表現になっているんですけども、もしかしたら以前にそういう話もあったのかもしれませんが、元の用語とか対象区とか幾つか多分用語があって、ここで英語表記というのが少し唐突な印象を受けたんですけど、これ何かありましたっけ、ルールみたいなのは。

【伊豆田座長】 ルールはありましたかね。何かありましたか。特にないですよ。

【松浦課長補佐】 環境省の松浦です。

Control の記載ぶりについては、これまで特に意識して統一的な対応をしていないように思いますが、ご指摘のとおりここで Control という言葉がいきなり出てくるのも、確かに違和感があるように思いますので、対照区なり、より適切な表現に修正する方向で考えたいと思いますが、そのような方向でよろしいでしょうか。

【渡辺委員】 そうですね。いいと思います。

【伊豆田座長】 これは私が書いた論文ですので、多分、元の論文にこういう表現を使っていて、30年ぐらい前は対照区のことを英語ではコントロール区とコントロールトリートメントと表現していたので、恐らくこの論文の中では対照区のことをコントロールと表現して、そのままこの図を載せて、日本語に変えないで載せている状態でございますので、対照区にしたほうが適切であると思います。

【松浦課長補佐】 ありがとうございます。修正いたします。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

【渡辺委員】 ありがとうございます。渡辺からは以上です。

【伊豆田座長】 それでは、米倉委員、どうぞ。

【米倉委員】 どうもありがとうございました。

ちょっと表記の件でお伺いしたいんですけど、2.1.の中身の中で、最初の野内（1979）並びに寺門と久野（1984）のところですね。ほかのところは全部可視障害という表記があるんですけども、この辺のところでは可視被害発現域とか、葉被害発現とか、その辺、多分これ文献とももちろんこういう表現のほうが分かりやすいというところもあるんですけども、ここだけ何か被害、被害というところが出てきて、ほかは全部可視障害というところで統一されている中で、野内が 1984 なんです、被害葉面積とか、この辺、多分これでも問題ないと思うんですけども、もし必要であれば統一する必要があるのか、ないのかというのをご検討いただければな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。基本的には元の原著論文に載っている表現をそのまま利用しています。当時そういう言い方をしていたので、可視被害とこの論文でも書かれていますし、可視障害という言い方と微妙に雰囲気違います。ですから、論文を引用している記述の中ではその論文の中で使われている表現を使ったほうがいいと思いますので、そうしております。

【米倉委員】 私もそれはそれで全く問題ないかと思います。以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

【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】 はい、どうぞ。

【山口委員】 ご説明ありがとうございました。

冒頭のほうに PAN の障害発現には光が必要であるというお話があった中で、その後様々な実験を紹介していただいている中で、自然光型のチャンバーでとか、人工光型のチャンバーでとか、そういう光条件に関する記述があったので、よかったなと思っていたんですけども、125 行目の植物の成長に対する PAN の影響の部分で、光条件がもし分かるのであれば、ここもあるといいのかなとちょっと思ったんですけど、分かりますか。今じゃなくてもいいんですけど。

何々光チャンバーで曝露したみたいな一言が入っていると。

【伊豆田座長】 私の書いた論文は分かると思いますが、ほかのアメリカの論文などでは、原著論文を当たってみないと、光条件まで詳しく書いてあるかどうかは、今は分かりませんので、少し調べてみたいと思います。

【山口委員】 ありがとうございます。

【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】 はい、どうぞ。

【黄瀬委員】 ご説明ありがとうございました。

図 1 のキャプションのところ、42 から 46 行目のところですね。フダンソウ (e) の

葉の可視障害（野内，2002；埼玉県環境科学国際センター）と書いてあるんですが、この埼玉県環境科学国際センターというのは、どういう意図で書かれているんでしょうか。

【伊豆田座長】 恐らく写真を提供していただいたというか、埼玉県のホームページです、ホームページに載っている写真を使わせていただいたので書いてあります。

【黄瀬委員】 分かりました。そうでしたら、そのようにちょっと分かりやすく書いてもいいのかなとも思いました。

【伊豆田座長】 そうですね。もうちょっとその内容が分かるようにこのキャプションで書こうと思います。

【黄瀬委員】 お願いいたします。

あと、この図 1 の (b) だけ撮影場所が書かれていないんですが、もし分かるようでしたら、こちらも追記をお願いします。

【伊豆田座長】 これが埼玉県環境科学国際センターの写真ですね。

【黄瀬委員】 そうなんですね。

【伊豆田座長】 それが分かるように、図 1 のキャプションを工夫してみますので、それでよろしいでしょうか。

【黄瀬委員】 はい、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。

ほかにございますでしょうか。

ご質問、ご指摘をお願いします。ございませんでしょうか。

それでは、質疑も出尽くしたようですので、次の議題に移りたいと思います。ありがとうございました。

続きまして、議題 4 でございますが、指標植物を用いた光化学オキシダントの調査事例についてとなりますが、こちらも主に私が作成しましたので、私、伊豆田から説明させていただきます。

それでは、資料の共有をお願いいたします。ありがとうございます。

それでは、指標植物を用いた光化学オキシダントの調査事例を説明いたします。

植物の反応を通して、ある地域における環境要因の現状把握や変化の内容や程度を評価する方法を植物指標といいます。この植物指標の中でも、特定の環境要因の変動に対して、特定の反応を示す植物を指標植物といいます。

日本では、1970 年代から指標植物を用いた大気汚染状況の調査研究が実施されています。大気汚染状況の調査に用いられる指標植物は主に四つに分類されます。

一つ目は対象地域で自生している植物を指標植物として活用する場合です。

二つ目は、対象地域に指標植物を導入する場合です。敏感な植物を指標植物として様々な場所に配置し、葉の可視障害の有無や程度を比較します。

三つ目は、チャンバー内で指標植物を育成する場合です。例えば、野外空気を導入する

チャンバーと活性炭フィルターなどで野外空気を浄化した空気を導入するチャンバー内で育成した指標植物で、葉の可視障害の有無や程度と共に、植物の成長抑制や農作物の場合は収量低下の程度などを評価します。

四つ目は、コケなどの植物種の世代を超えた観測です。

それでは次に、指標植物によるオゾンの調査事例を紹介いたします。

日本では、アサガオ、タバコ、ハウレンソウ、ハツカダイコン、サトイモ、ケヤキ、ポプラなどを指標植物としたオゾンの野外調査が行われてきました。これらの植物のオゾンに対する感受性は、種間または品種間で異なります。アサガオ、タバコ、ハウレンソウでは光化学オキシダントの日最高値が 80～100ppb で、葉に可視障害が発現するとされています。また、ハツカダイコン、サトイモ、ケヤキ、ポプラでは、光化学オキシダントの日最高値が 100～150ppb で葉に可視障害が発現するとされています。アサガオはオゾンの有用な指標植物として報告されています。

1974 年～76 年において、光化学オキシダントに対する感受性が高いアサガオの品種であるスカーレットオハラを用いた、光化学オキシダント調査が日本全国の 120 以上の中学校の生徒と教員によって行われました。その結果、アサガオの葉の被害は、光化学オキシダントの日最高濃度が 72ppb、あるいは 9 時～17 時の光化学オキシダントの積算曝露量が 400～480ppb・h を超えたときにしばしば発生することが明らかになりました。47 都道府県中 37 の地域において、アサガオの葉に光化学オキシダントによる可視障害が観察されました。

関東地方とそれに隣接する合計 10 都県、これは東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県、栃木県、群馬県、さらに長野県、山梨県、静岡県ですけれども、この 10 都県で公害研究所や農業試験場によるアサガオやサトイモを指標植物とした光化学オキシダントの野外調査が実施されました。1997 年の調査では、アサガオのスカーレットオハラの葉の可視被害の観察を 7 月 28 日～8 月 2 日に全調査地点で一斉に行いました。その結果、アサガオの葉の被害は、ほとんどの地域で発生しており、その累積的な葉被害の分布は光化学オキシダントの汚染分布とある程度一致していました。しかしながら、幾つかの地点では、アサガオの葉被害の程度と大気中の光化学オキシダント濃度との間に相関が認められない場合もありました。また、1975 年～1997 年の全調査地点における葉の被害発生率はほとんど変化が見られませんでした。

2005 年から現在に至るまで、埼玉県では、市民参加型の光化学スモッグによるアサガオ被害調査を実施しており、光化学オキシダントによると思われる葉の被害が現在も実際の野外条件下で発現しています。

次に、OTC、すなわちオープントップチャンバーを用いた大気汚染状況の野外調査を紹介いたします。この OTC 法では、調査地点に二つのオープントップチャンバーを設置し、一方には野外の空気をそのまま導入し、他方には活性炭フィルターなどによって大気汚染

物質を除去した野外空気を導入します。

これらの二つの OTC 内で育成した指標植物の成長量や葉に発現する可視障害の程度などを比較し、その場所における大気汚染状況を評価します。

伊豆田らは 1986 年から小型 OTC を用いて、東京都府中市や奥多摩町でハツカダイコンの品種であるコメットの葉の可視障害発現や成長に対するオゾンの影響を調査しました。その結果、比較的気温が高い夏においては、ハツカダイコンの子葉の面積と個体乾重量がオゾンの影響の指標として有用であることが示されました。

近年、中島らは、OTC 法を利用して、長崎県で野外調査を実施し、越境大気汚染が顕著な長崎県において観測されるオゾン濃度は、ハツカダイコンのようなオゾン感受性が比較的高い植物に悪影響を及ぼすレベルであったことを報告しています。

それでは次に、指標植物による PAN、すなわちパーオキシアセチルナイトレートの調査事例を紹介いたします。

日本では、ペチュニア、インゲンマメ、レタスなどが PAN に敏感な植物として、分類されており、これらを指標植物として用いた PAN の野外調査が行われました。特にペチュニアの白花系品種は PAN 感受性が高く、数 ppb の大気濃度の PAN によって葉に可視障害が発現するため、PAN の指標植物として多くの野外調査で使われてきました。

野内ら（1984）は、PAN に敏感なペチュニアの品種であるホワイトエンサインと PAN に比較的耐性がある品種であるブルーエンサインを指標植物として、東京都で野外調査を行いました。その結果、1982 年と 83 年の春と秋に、東京都の五つの地域すなわち、青梅、用賀、石神井、有楽町、足立で PAN によると思われる葉の可視被害が発生したことを報告しました。

2 年間にわたる野外調査において、ホワイトエンサインの葉の被害は、5 月～10 月において、五つの調査地点のうち、1 地点以上で毎月観察され、ホワイトエンサインとブルーエンサインの葉の被害発生頻度は、東京都西部で東京都東部に比べてかなり大きかったことが報告されています。

全調査地点に対するペチュニアの葉の被害の発生率は、1987 年～1997 年までの 11 年間で平均すると、タイタンホワイトでは 53%であり、タイタンブルーでは 18%でした。

光化学オキシダント濃度が高い東京都や埼玉県においては、タイタンホワイトとタイタンブルーの両方に PAN によると思われる葉の被害が発生しました。

以上で指標植物を用いた光化学オキシダントの調査事例に関する説明は終わりにいたします。ご清聴ありがとうございました。

それでは、ただいまの説明についてご意見とご質問があれば、よろしく願いいたします。

ご意見、ご指摘はございませんでしょうか。

【渡辺委員】 農工大の渡辺です。よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 はい、どうぞ。

【渡辺委員】 2 ページ目のこれで2か所ちょっと表現で確認したいことがあるんですけど、33行目ですね。遷移からというのがちょっと表現としては、コケをしばらく育てると世代を超えてある意味コケの遷移という表現なんではないかということかなと思うんですけど、ちょっと唐突に植生遷移みたいなものがイメージされちゃうと、ちょっと解釈が難しいかなというふうな印象を持ちました。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

コケの遷移なんですけども、確かに唐突なので、もう少し説明を加えた方がいいと思います。はい、そのようにしたいと思います。

【渡辺委員】 あと次の行、次の行というか35行目なんですけれども、対象とする大気汚染物質によって指標植物において指標とする影響という後半の部分ですか。そこがちょっとどういう意図なのかがちょっとよく私のほうでうまく理解できなかったのですが、これいかがでしょうか。

【伊豆田座長】 すみません、もう一度、どこでしょうか。

【渡辺委員】 指標植物において指標とする影響。

【伊豆田座長】 何行目ですか。

【渡辺委員】 35行目です。

【伊豆田座長】 なるほど、この表現は、指標植物の何に対する影響かということを書いています。ですから、例えば成長を指標とするとか、可視障害の発現程度を指標とするとか、そういう意味なんですけど、少し分かりにくいですね。

【渡辺委員】 そうですね。何かその指標自体が異なる。

【伊豆田座長】 そうですね。ちょっと分かりにくいですね。どういう表現がいいですか。大気汚染物質によって、そうですね、成長とか、可視障害発現のように、もう少し具体的に書いたほうがいいですね。

【渡辺委員】 何とかなどというような具体例があると読みやすいかなというふうに思いました。

【伊豆田座長】 ちょっとここの部分の文章表現を工夫させていただきます。ありがとうございます。

【渡辺委員】 よろしくお願ひします。私から以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

ほかにご質問、ご指摘はございませんでしょうか。

【青野委員】 青野ですけど、よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 はい、どうぞ。

【青野委員】 ちょっと同じような場所で、また細かいことで恐縮なんですけど、32行目の、コケの組成や密度という記述があると思うんですけど、これはコケの種類組成、

コケの種が幾つかあって、その組成とか、生育の密度ということですかね。

【伊豆田座長】 はい。コケというか地衣類が集まったところで何種類かの地衣類が入っていますので、その組成という意味だと思います。

【青野委員】 なるほど、なるほど。種とかいう言葉を一つ入れてもいいのかなというふうに思いました。

【伊豆田座長】 そうですね。種組成と言ったほうが分かりますかね。

【青野委員】 そうですね、はい。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

【青野委員】 はい、お願いします。以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

ほかにございませんか。

どうぞ、米倉委員。

【米倉委員】 米倉です。私も実はそこで引っかかっている、コケの何か文献、こういうふうに表示されてとか、何か私も見た記憶あるんですが、コケに関するそういう植物指標としての文献等というのは、なかなかありませんでしたかね。

【伊豆田座長】 あります。例えば、兵庫県の研究者の方々がブリオメーターというものを使って、たくさん報告しております。

【米倉委員】 これには入れなくてもいいですか。

【伊豆田座長】 この評価書は主に高等植物を対象にしていると考えましたので、コケの具体的な論文等は引用しませんでした。

【米倉委員】 大丈夫です。はい。

【伊豆田座長】 あとコケに関しては、ちなみに  $\text{SO}_2$  の指標植物として使われてきておりますので、光化学オキシダントというよりも  $\text{SO}_2$  による大気汚染の指標植物として使われております。

【米倉委員】 ありがとうございます。一応(4)に示されてたので、この指標植物に入れてもいいのかなとは思ったんですが、そういう高等植物というふうな選択肢でという記述であるんだったら問題ないかなと思います。

【伊豆田座長】 はい。特にオゾンとパーオキシアセチルナイトレート(PAN)の指標植物ということで考えていましたので、コケの具体的な研究論文は引用しておりません。

ほかに、ご意見ご質問ございますでしょうか。

ございませんか。

それでは、質疑も出尽くしたようですので、議題5のその他の議題に移りたいと思います。ありがとうございました。

それでは続きまして議題5、その他となりますが、事務局からワーキンググループの設置についてご説明をお願いいたします。

【松浦課長補佐】 環境省の松浦です。

議第5その他としまして、事務局よりワーキンググループの設置についてご説明をさせていただきたいと思っております。

本検討会、光化学オキシダント植物影響評価検討会のほうでは、これまで第2回の検討会の資料3で本日の参考資料2としておりますけれども、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、という資料におきましてご検討いただきましたように、これまで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対象として、知見の整理というものを進めてまいりました。

知見の整理につきましても一定程度進んでおりますので、今後引き続いて第1回の検討会の資料で、本日の参考資料4になりますけれども、その中で、検討事項、検討の範囲として示しておりました環境基準の設定に当たり定量評価が可能と考えられる植物影響について整理・検討を進められればというふうに考えております。

つきましては作業会合といいますか、ワーキンググループを作らせていただいて、これまでの検討会の中で収集整理してきた知見の中から、定量評価が可能と考えられる知見というものを抽出し、定量評価の可能性を議論する上で必要な情報の整理というものについてワーキンググループの中で作業を、ご検討をいただきたいと思っております。

その上で再び、この光化学オキシダント植物影響評価検討会にその整理結果等々を諮っていただいて、ご議論をいただければと考えております。

ワーキンググループにご参加いただく委員に関しましては、事務局と伊豆田座長との間でご相談をさせていただき、伊豆田座長、米倉委員、渡辺委員、山口委員にお願いしたいと考えております。

事務局からのワーキンググループに関するご説明は、以上となります。

【伊豆田座長】 よろしいですか。すみません、マイクが入っていませんでした。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お願ひいたします。よろしいでしょうか。

それでは、ないようでしたら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よろしくお願ひいたします。

【松浦課長補佐】 再び環境省の松浦でございます。

本日は活発にご議論いただきまして、ありがとうございました。

本日の議事録につきましては、事務局で案を作成しまして、委員の皆様にも改めてご確認いただいた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ひいたします。

次回の第6回の検討会につきましては、先ほど申し上げたようにワーキンググループで検討した内容の報告と、それに基づく議論等を予定しております。具体的な日程につつま

しては後日事務局でまた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。

そうしましたら、予定していた時刻よりは早いですけれども、以上をもちまして本日の光化学オキシダント植物影響評価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。