

光化学オキシダント植物影響評価検討会
第4回

(令和5年1月30日開催)

環境省水・大気環境局

光化学オキシダント植物評価検討会 第4回 会議録

1. 日 時 令和5年1月30日（月）15:00～17:00

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 玉置 雅紀

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3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）日本の樹木へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理結果
- （3）日本の森林衰退とオゾンとの関係に係る科学的知見の整理結果

5. 配付資料一覧

光化学オキシダント健康影響評価検討会 委員名簿資料

資料1 第3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 日本の農作物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 植物に対するオゾンの影響（概況）【修正版】

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（案）

資料3 日本の森林衰退とオゾンとの関係（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3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)

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4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ひいたします。

本日は、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から、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、音声が聞き取りにくい等、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。

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、直接お話いただきますようお願いいたします。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。

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、資料1別添1、資料1別添2、資料2、3、参考資料1から3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。

続きまして、本日の議題の確認になりますが、その前に、前回の検討会から時間がたっておりますので、前回までの簡単な振り返りをさせていただきますと思います。

まず、昨年7月に開催されました第2回検討会では、本検討会において、光化学オキシダントの主成分であるオゾンを中心に、オゾンとパーオキシアセチルナイトレート、いわゆるPANを対象に、農作物や樹木を中心に、国内に生息する植物種への影響に関する科学的知見について整理を進めていくという点につきまして、ご議論をいただいた上で、曝露指標や曝露方法、オゾンの植物影響に関する概説、植物におけるオゾンの応答機構について整理、ご検討いただきました。続きまして、9月に開催された第3回の検討会では、光化学オキシダントの大気中濃度に関してご紹介するとともに、農作物へのオゾンの影響に関する科学的知見を整理・検討いただきました。

改めまして、本日の議事次第を見ていただければと思いますけれども、本日は、議題(1)として、第3回検討会におけるご議論等を踏まえた修正対応等について、まずはご報

告させていただきます、続きまして議題(2)では、日本の樹木へのオゾンの影響に係る科学的知見、議題(3)では、日本の森林衰退とオゾンとの関係に係る科学的知見を整理した結果について、ご検討いただきたいと思います。

なお、昨年3月の第1回検討会の段階では、昨年の12月頃に全体取りまとめの予定としておりましたが、PANによる植物への影響に係る科学的知見やオゾンの植物影響を変化させる環境要因、諸外国における植物保護のための基準に関する詳細なご紹介等、まだ整理・検討すべき事項が残っておりますので、検討会の期間を延長させていただき、来年度も引き続きのご検討をお願いできればと考えております。

そうしましたら、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、よろしくお願ひいたします。

【伊豆田座長】 東京農工大学の伊豆田です。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3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等について、説明を事務局よりお願ひいたします。

【松浦課長補佐】 再び環境省の松浦でございます。

資料1をご覧くださいと思います。資料1には、前回の第3回植物影響評価検討会等におきまして、ご指摘等をいただいたものの宿題となっております事項への回答並びにその他、前回の検討会での議論等を踏まえて資料の加筆修正を行った事項等をまとめております。

まず、委員からの質疑1~3をご覧くださいと思います。これらのご質問につきましては、前回ご紹介した光化学オキシダントの大気中濃度についてという資料に対するもので、一つ目が、東京都の島しょ部における光化学オキシダント濃度の日内変化につきまして、2013年8月・9月がほかの年度と比較して高濃度である理由、二つ目が、光化学オキシダントの濃度が昭和51年から急激に低下しているのはなぜか、三つ目は、同じく光化学オキシダント濃度の推移に関するもので、平成23年まで緩やかに上昇した後に、平成23年に一度低下し、その後、また緩やかに上昇後安定しているように見える理由は何かというものでございました。

残念ながら、これらのご質問いただいた事象の要因につきましては、環境省におきまして、これまでに詳細な解析は行っておらず、明確な理由は不明でございましたので、その旨、まず回答させていただきたいと思います。

続きまして、表の下段の部分、その他、資料の加筆修正事項等の部分をご覧くださいと思います。こちらには、前回資料の修正箇所等について記載をしております。

まず前回、光化学オキシダントの農作物への影響につきまして、米倉委員よりいただいた補足説明の内容、並びに検討会における質疑応答の内容を踏まえまして、そちらに記載

の二つの資料に修正を加えました。修正内容の概要につきましては、また後ほどご説明させていただきます。

また、それ以外に、個別の研究の実験設備、実験条件、それから曝露濃度の追記、濃度単位、表現の修正等も行っております。

そうしましたら、別添資料を用いまして、修正内容の概要をご説明させていただきたいと思っております。

資料1別添1をご覧くださいければと思います。こちらの資料では、修正箇所を赤字で示しております。

こちら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（案）と題した資料につきましては、32行目辺りにございますとおり、「オゾン」と「光化学オキシダント」の表記及び濃度単位は、基本的に文献中の表記をそのまま記載としている旨記載し、そのように資料中の記載を整理しております。

60行目に飛んでいただきまして、米倉委員よりスライドを用いて補足説明いただいた内容として、空気浄化試験、いわゆるFAC試験に関する説明をそちらの部分に追記するとともに、68行目辺りのところで、FAC試験についてはオゾン濃度と成長の低下等との定量的な関係性の検討に用いることが難しいものが多い点に留意が必要である旨、記載しました。

また、72行目からの部分に、2.として葉の可視障害という章を追加いたしました。その中で、寺門らの1981年の報告並びに野内らの1988年の研究などを紹介し、最後、127行目辺りになりますけれども、農作物の葉の可視障害の発現程度に基づくオゾン感受性と成長や収量の低下の程度に基づくオゾン感受性は必ずしも一致しない旨、記載しているという構成になっております。

また、22ページに飛んでいただきまして、580行目になりますけれども、オゾン影響のリスク評価事例につきまして、推計の多くが土地利用の分布を考慮した上での推計ではないことについて追記をするとともに、米倉委員からの補足説明において言及のございました、小林の1999年の研究に関する記載を追記しております。

資料1別添1につきましては、以上となります。

続きまして、資料1別添2をご覧くださいければと思います。こちらの資料、植物に対するオゾンの影響（概説）につきましては、第2回の検討会で取り上げさせていただいたものになります。

3ページまで飛んでいただきまして、この概説資料には、もともと可視障害についての比較的詳細な説明が記載されておりましたけれども、先ほどご紹介させていただいたように、資料1別添1に作物の可視障害に関する記載を追記いたしましたので、重複する部分を削除するという修正を本資料には加えております。

資料1別添2につきましては、以上となります。

資料1シリーズに関する説明は以上となります。

【伊豆田座長】 どうも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、農作物へのオゾンの影響に関する資料の作成にご協力いただいた米倉委員から、補足等があればお願いいたします。

【米倉委員】 埼玉県の米倉です。

今ご紹介いただいたとおりでございますので、特段補足はございませんが、の可視障害についてのチャプターがこちらに入って、成長と葉の可視障害で応答が違うというところを示したのが一番大きいかなというところがございます。

以上です。

【伊豆田座長】 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、よろしくお願いいたします。玉置委員、どうぞ。

【玉置委員】 国立環境研究所の玉置です。

1点だけ、今の資料1別添1の追記部分、585行目の小林(1999)という論文が新たに追記になっているんですけども、これは699行目の引用文献と同じでいいということでしょうか。つまりこれは新規に論文を追記しなくてもいいということですね。

【松浦課長補佐】 環境省、松浦でございます。

同じものというご認識で間違いございません。

【玉置委員】 分かりました。では、これで大丈夫です。

【伊豆田座長】 ほかにご質問等はございませんか。

【渡辺委員】 すみません、東京農工大学の渡辺ですけども、よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 はい。じゃあ、渡辺委員、どうぞ。

【渡辺委員】 質問というわけではないんですけども、特に新しい追記、とてもよいと思いました。特に「はじめに」の最後のところ、FAC実験、たくさんやられているんですけど、やはり量的な概念で成長低下率を出すところが難しいということは、現状としてあったわけですけども、それが明記されることによって、今後の評価を考える上でも、どういう立ち位置になるのかということをはっきりさせるという点で、非常によいんじゃないか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。

ほかにご質問、ご意見等はございませんか。よろしいですか。ないですか。

それでは、質疑もないようですので、議題(2)に移りたいと思います。

続いて議題(2)ですが、日本の樹木へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理結果について、資料の作成にご協力をいただいた黄瀬委員より説明をお願いできればと思います。黄瀬委員、よろしくお願いいたします。

【黄瀬委員】 よろしくお願いいたします。

資料、見えていますでしょうか。

【松浦課長補佐】 はい、見えております。

【黄瀬委員】 はい、ありがとうございます。

日本の樹木へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理ということで、私と東京農工大学の渡辺委員とで、共同で執筆した資料になります。本日は、私のほうから説明をさせていただきます。

こちら、目次になりますけれども、まとめまでのところで全 15 ページございまして、一つずつ、一文一文紹介すると、ちょっと時間がありませんので、特に重要なところを中心に説明をしたいと思えます。

この辺りですね、樹木の乾物成長に及ぼす影響でありますとか、森林樹木に対するオゾン影響のリスク評価事例、この辺りを中心に 30 分強、説明をさせていただきます。

まず、はじめにというところですがけれども、日本は亜熱帯から寒帯まで多様な気候がございまして、それに応じていろんな機能型の樹木が分布しています。日本の総面積の 67% は森林で覆われています。一般に、東アジアの温帯生物群系の樹種数は、ヨーロッパや北米よりも多いということで、国内の樹木に対するオゾンの影響を理解することは、木材生産、炭素隔離、防災、生物多様性の保全、そういった森林生態系サービスの維持にとって重要です。

そういった背景から、日本では 1970 年代よりオゾンの樹木への影響に関する研究が報告されています。当初の研究は、ソメイヨシノであったり、イチョウ、ケヤキなど、街路樹や公園の樹木について、高濃度オゾンの急性影響が明らかにされてきました。また、森林の樹木としては、スギを対象とした研究もありまして、オゾンやその他の大気汚染物質の複合影響に関する、こちらにも急性影響評価が行われてきました。

一方で、高濃度のオゾンの短期曝露（急性影響）と低濃度の長期曝露、いわゆる慢性影響とでは、樹木に対する影響は異なるということが後に明らかになっています。1990 年代以降、森林に生えているような樹種を対象として、低濃度のオゾンの長期曝露がその成長や生理機能に与える影響を調べる研究というのが始まりました。

下に一例として書かれていますけれども、ブナ、ケヤキ、アカマツといった、こういうものはオゾンの感受性が高い樹木として認識されているのですけれども、100ppb 未満の現実起こっているような濃度レベルのオゾンを数か月曝露することで、成長・生理機能が阻害されるということが明らかになっています。

本資料では、こういった低濃度の長期曝露濃度、いわゆる慢性影響について主に説明をしていきたいと思えます。

次に、2. 樹木の乾物成長に及ぼす影響です。

樹木は、光合成・呼吸・枯死といった、環境との間で炭素のやり取りを行っております。

その収支、収入というのは光合成で、支出が呼吸や枯死による炭素の放出ですけれども、この収支が樹木の成長量として、一般に乾物成長という形で表されます。乾物成長とは、ある一定期間が経過した後の植物体の乾燥重量（個体乾重量）、あるいは、その期間の個体乾重量の増加量（成長量）のことを指します。一般に、樹木の乾物成長はオゾンによって低下することが知られています。これまでに温室、人工気象室、またはオープントップチャンバーなどの設備を用いることで、オゾンを曝露し、日本の森林樹木の成長に対するオゾンの影響調査が多くの研究で行われてきました。

例えば、松村らは、スギ、ヒノキ、ケヤキの苗を、大気オゾン濃度の0.4、1.0、2.0及び3.0倍に制御した4段階の処理区を設け、24週間にわたって育成しました。その結果、スギ、ヒノキ、ケヤキの個体乾重量が低下したというふうに報告しております。その後も、本当に多くの研究が日本ではなされております。ここにざっとまとめておりますけれども、植物機能型で見ると、落葉広葉樹を対象とした研究、落葉針葉樹の研究、あと常緑広葉樹や常緑針葉樹といった形で、いろんな研究がなされてきていますが、全ての植物機能型において、オゾンによる成長低下が報告されています。

そして、1990年後半以降の研究で、日本の森林樹木の成長におけるオゾン感受性には樹種間差があるということも明らかになっております。こちらは表1に詳細を示しておりますので、そちらをお見せしながら説明をしたいと思っております。

表1、日本の森林樹種の成長におけるオゾン感受性の分類を示しています。左側が感受性ということで、オゾンの感受性が高いものと中ぐらいのものと低いものと大きく分けておりまして、あと植物機能型、広葉、針葉だとか、落葉性、常緑性というような形で分類しています。一番右側が樹種名になります。

このKohnoらの研究ですけれども、1993年頃から、ちょっと間は開いたりしているんですが、大体10年ほどかけて、いろんな、こういう樹木を対象としてオゾン曝露実験を行いました。現状濃度のオゾンで有意に成長が低下するものを「高感受性種」、現状濃度の1.5倍または2倍の濃度のオゾン曝露をしたときに有意に成長が低下するものを「中感受性種」、それでも成長が低下しないものを「低感受性種」というふうに分けております。

ここで機能型間でのオゾンの感受性の違いに着目しますと、高感受性種のところには、落葉性のものが多いことが見てとれます。また、オゾンの感受性が低いもの、つまりオゾンに強いものですが、これには常緑性の樹種が多いことが分かります。こういった機能型によるオゾン感受性の違いというのが見てとれるんですが、これはヨーロッパや中国など、世界各地の樹木でも同様の傾向が確認されています。ただし、例えば日本の温帯林の代表的な常緑樹であるスダジイは、オゾン感受性は高いに分類されておりまして、常緑性だからといって、必ずしもオゾンに強いというわけではない、こういう例外も存在することが分かっております。

以上が2. 樹木の乾物成長に及ぼす影響についてでした。

続きまして 3. 森林樹木に対するオゾン影響のリスク評価事例について説明をいたします。

2000 年代以降、実験的研究の結果に基づいて、日本の樹木の成長や光合成などに対するオゾン影響のリスク評価が実施されてきました。この場合のリスクとは、オゾンが植物に及ぼし得る悪影響の可能性のことで、一般的に、オゾンの曝露量または吸収量と樹種固有のオゾン感受性によって決定されます。つまり、例えばオゾンの曝露量が多ければリスクが高いとか、オゾン感受性が高いとリスクが高いということになります。これまでにオゾンの曝露量（例えば、AOT40）と書いてありますけれども、これは 40 ppb を超えるようなオゾン濃度の 1 時間値の積算値でございます。こういったオゾンの曝露量またはオゾンの吸収量と成長や光合成との関係というのが、多くの実験的研究で得られてきました。

その関係式は、森林や農地などに適用することで、オゾンのリスク評価ができるだけでなく、クリティカルレベルの決定にも利用できます。さらに、その関係式である回帰直線の傾きは、オゾン曝露量あるいは吸収量当たりの成長や光合成低下率を示し、オゾン感受性の指標ともなっています。

この 3. の内容におきましては、オゾンの曝露量及び吸収量に基づいた樹木に対するオゾン影響のリスク評価、そしてリスク評価に不確実性をもたらす要因について取りまとめをいたしました。

まず、3.1 です。オゾン曝露量に基づくリスク評価の事例です。

伊豆田と松村は、16 樹種の AOT40 と個体乾重量との関係を解析しました。こちらは図 1 にございますので、こちらも図を見ながら説明をさせていただきます。

こちらの図が、横軸が AOT40、縦軸、個体乾重量の相対値となっています。要は、オゾンの曝露量が多いと成長は低下するというような関係が得られています。左側が針葉樹、右側が落葉広葉樹のデータです。これについて説明をいたします。

まず、この回帰直線の傾きの絶対値から、ドロノキですとか、トウカエデ、あとブナ、ストロブマツ、こういった樹種というのはオゾン感受性が比較的高いというふうに判断されます。特に感受性が高いドロノキでは、10%乾物成長が低下するところを見ますと、この 90 のところに点線が入っていますが、10%低下するときの AOT40 を見ますと、8 ppm h というふうに報告されています。それぐらいのオゾンの曝露量でも、10%ほど成長が低下する樹種があるということになります。

こういった複数の樹種を対象としてオゾンの AOT40 と成長との関係を解析した研究例は、ほかにもございます。これが図 2 に示しております。こちらは渡辺ら、山口らの研究成果ですけれども、こちらからコナラ、アカマツ、カラマツ、ブナ、スギ、スダジイと、6 樹種対象で、先ほどと同様です。AOT40 と個体乾物成長量との関係を取っています。

ブナとカラマツとスダジイ、この 3 樹種ですけれども、これは比較的回帰直線の傾きの絶対値が大きい、0.198、0.193、0.248 ということで、ほかの樹種と比べて傾きの絶対値

も大きく、比較的オゾン感受性が高いだろうというようなことが報告されております。

ここで、ちょっと注意するべき点として、アカマツなんですが、この6樹種の中ですと、比較的オゾンに強い樹種として考えられると思うのですが、先ほどの伊豆田と松村の研究成果ですと、アカマツはかなりオゾンに弱い樹種として扱われておりますし、また表1、こちらのオゾン感受性の分類の表を見ましても、アカマツは一番感受性が高いところに分類されているというような形で、実験によって結果が一致しないところが多少あったりもします。こういうのは、気象条件だとか栄養条件が栽培実験によって違って、そういうものがオゾン感受性に影響を与えたりもするので、一つの原因として、そういう実験による生育環境の違いが関与している可能性はございます。

本文のほうへ戻りまして、そういう不確実性はあるのですが、図2に基づいて、先ほどの実験結果に基づいてちょっと解析をしてみると、ブナでは乾物成長が5%低下するようなAOT40を計算してみますと、大体25 ppm hとなります。このことは、オゾンによるブナの成長低下を5%以下に抑えるためには、AOT40を25 ppm h以下にしなければいけないということになります。

それを踏まえて、ちょっと戻りますけれども、ブナが多く自生している神奈川県丹沢山地では複数地点でオゾン濃度が観測されているのですが、犬越路では、この3年間のAOT40が平均で約29.6 ppm hでした。ということなので、25 ppm hを超えているということで、この地域では5%以上、成長が年間で低下しているだろうと。正確には6%低下しているというようなことが示唆されます。

しかしながら、この成長低下率はOTCを用いてオゾン影響の現地調査を行った研究結果とは一致しません。武田と相原が現地調査を行っているのですが、浄化空気区と比べて非浄化空気区、つまり現状濃度のオゾンでブナ苗の個体乾重量が3年間で61.3%低下、これは年間で考えますと27%低下となります。なので、先ほどのAOT40と成長との関係から予測したケースでは年間で6%低下ということで、こういう違いが認められます。これもやはり、樹木に対するオゾンの影響というのは、生育環境などの影響を強く受けることに由来する可能性がございます。現状、森林でオゾンの影響を調査した事例は極めて少ない状況ですが、一応、現段階でこういう違いというのは認められております。

そして、こういう実験的研究から得られたAOT40と成長との関係式を用いまして、現状濃度のオゾンによるリスクを評価した研究もございます。Kohnoらは、18樹種の実験的研究に基づいて、オゾン感受性の高い樹種で少なくとも10%の成長低下が予想される日本の領域を抽出しています。また、Watanabeらは、全国の森林モニタリングデータ（各樹種の分布及び都道府県ごとの森林の齢級別材積）、こういうデータと実験的研究の結果に基づきまして、日本の代表的な針葉樹3種（カラマツ、アカマツ、スギ）の森林の各都道府県における年間炭素吸収量、これに対するオゾンの影響を推定しています。これらの3樹種の年間炭素吸収量は、現状濃度のオゾンによって0.8%低下していると推定されていま

す。

以上が 3.1 のオゾン曝露量に基づくリスク評価の事例でした。

次に 3.2、オゾン吸収量の推定と吸収量に基づくリスク評価事例です。少し間を飛ばしながら説明をさせていただきます。

2000 年代になりまして、ヨーロッパでは環境条件や個体発生学的要因によるオゾン影響の違いも説明可能な、気孔を介した葉のオゾン吸収量を推定しまして、それと成長との関係が解析されてきました。気孔コンダクタンスの推定をすることで、オゾン吸収量を計算できるのですが、いろんなモデルが利用されてきました。この辺り、少し飛ばさせていただきます。

Kinose らの研究で、4 月から 5 月の春のブナ、コナラ、ミズナラのオゾン吸収量は比較的少ない一方で、実はそのときオゾン濃度は高いというようなことを示しています。つまり、オゾン濃度は高いけれども、吸収量は少ないというようなケースが存在するということです。一方、シラカンバ苗は、主に葉の成熟が早いことに加えまして、気孔が開く最適温度が低いことから、春のオゾン吸収量は比較的多いというような形で、オゾン濃度が高い時期と吸収量が多い時期が一致するというようなことも分かっています。

この辺も少し飛ばしまして、同様の結果が Hoshika らによっても得られています。Hoshika らは、日本のケヤキの AOT40 とオゾン吸収量を広域推定した結果、高い飽差によって誘発される気孔閉鎖が、高濃度オゾンであってもオゾン吸収量が少なくなるというような不一致を引き起こすことを示唆しています。いずれにしても、オゾン濃度が高いからといってオゾン吸収量が多くなるとは限らない、そういうケースがございますので、オゾン吸収量に基づく影響評価のアプローチというのが、広域に分布する樹木に対するオゾンの影響をより高い精度で評価できる可能性を示しています。この辺りの吸収量のお話も少し割愛させていただきます。

リスク評価のほうですけれども、Yamaguchi らは、日本の代表的な落葉広葉樹であるブナ、コナラ、ミズナラ、シラカンバの苗木にオゾンを曝露し、1 成長期間の葉のオゾン吸収量に対する純光合成量の応答を調べました。その結果、その応答というのは種特異的であり、樹種によってオゾン感受性が異なることが明らかになっています。その関係を用いまして、日本における 4 樹種の現状濃度のオゾンのリスク評価というのも行われております。こちらは図 3 に示してあります。

こちらですけれども、左上からブナ、コナラ、ミズナラ、シラカンバのオゾンによる葉の年間 CO₂ 吸収量の低下率を示しています。青のほうは低下が小さい、赤いほうがオゾンの影響が大きくて、CO₂ の吸収が阻害されている地域になります。こちらも図を見ながらご説明をさせていただきます。

オゾンによる CO₂ 吸収量の低下率は地域によって異なりまして、例えばブナの場合は、北海道とかですと数%の低下ですけれども、この辺り、30%以上 CO₂ の吸収が低下する地

域もございました。また、樹種によってもオゾンの影響の程度は異なっておりまして、単純に全国平均を取りますと、ブナ、コナラ、ミズナラ、シラカンバの順に、14%、10.6%、8.6%、15.4%というような低下率になっています。

さらに、それぞれの樹種において、この図ではちょっと読み取れないのですが、これらの被害を5%に抑えるためには、どれぐらいオゾン濃度を低減させる必要があるのかということも計算しておりまして、それぞれ28%、20%、17%、49%というような予測もされています。

以上が3.2のオゾン吸収量の推定と吸収量に基づくリスク評価の事例でございました。

次、3.3に移ります。オゾン影響のリスク評価における不確実性についてです。

樹木に対するオゾンのリスク評価を行う際には、実験的研究、野外モニタリング及び植生調査のデータなどが組み合わされますけれども、この各データには不確実性が含まれています。そのリスク評価の不確実性について、この部分では記載をしております。

過去の研究によると、オゾンに対する植物形質の反応、例えばバイオマスの減少や光合成低下などの程度というのは種特異的でございます。さらには遺伝子型特異的であるというようなことも分かっています。また、苗木と成木ではオゾン感受性の違いがあることも知られています。一方で、Pretzschの研究では、オゾンによる成長低下のメカニズムは苗木と成木では異なる可能性があるものの、ヨーロッパブナの成木と苗木の成長におけるオゾン感受性は同等であるというようなことを報告しております。つまり、その成長が低下するメカニズムは違う可能性があります。その成長低下率は同じだということです。というような形で、樹種によって、あるいは遺伝子型によって、苗木と成木によってオゾン感受性が違ったり、ほかのいろんな環境要因がこのオゾン感受性に影響を与えている可能性があります。これらの不確実性をなくすためには、樹木個体の生理や成長の観点に基づいたオゾン影響の理解、そして、成長や生理プロセスのよりよいモデリングが必要です。近年は光合成や呼吸などの生理プロセスに基づいた植物成長モデルを使ったオゾンの影響評価が期待されており、日本においてもブナの成長モデルの開発に取り組んでいます。

少し話はかわりますけれども、近年の研究でオゾンの吸収は必ずしも樹木の成長や光合成を低下させるわけではなく、比較的吸収量が少ない場合はオゾンの影響がない、あるいは正の影響を引き起こす、つまり成長がよくなるようなことも示唆されています。これはホルミシスと呼ばれまして、ある刺激は生物によって悪影響があったとしても、比較的軽度の刺激であればプラスの効果をもたらすことがございます。日本においても、Sugaiは比較的low濃度のオゾン曝露によってカラマツとグイマツ雑種F₁の最大カルボキシル化速度や最大電子伝達速度といった光合成能力はオゾンによって上昇することを報告しています。現在のところ、その詳細な生理メカニズムは明らかになっていないのですが、これまでオゾン吸収量と光合成や成長との関係というのは、直線的にオゾンを吸収すると直線

的に光合成や成長が低下するというような関係式を取ってきましたけれども、この辺りを再検討する必要も場合によってはあると考えられます。

ここからまたリスク評価の不確実性について、また違うトピックになりますけれども、日本のオゾンの大気環境モニタリング測定局は、人の健康保護を目的とするため、主に人口の多い都市部及び郊外に設置されています。山間部や農村部の測定局は限られているというのが現状です。しかし、オゾンの前駆物質の排出量が比較的少ない山間部や農村部のオゾン濃度が都市部や郊外よりも高くなる現象が幾つか報告されています。さらに、測定局が主に設置されている平地と山岳地帯の大気オゾン濃度の日変化というのは異なることも知られています。一般に、山岳地帯では逆転層によってオゾン濃度の日変化はほとんど観測されません。日本の森林樹木へのオゾンの影響を正確に評価するためには、都市部と山間部、農村部とではオゾン濃度が違いますので、これらの地域のオゾン濃度に関する情報が必要になります。

ここもまた違うトピックになりますけれども、樹木に対するオゾン影響の将来リスク評価についてです。それに当たって、オゾン濃度の将来予測が重要になります。オゾンの前駆物質である NOx などの排出予測を基にオゾン濃度の将来予測が行われますが、樹木から放出されるモノテルペンなどの揮発性有機化合物、いわゆる BVOC も前駆物質の一つとして重要視されています。これまでの研究で、日本の樹木の BVOC の放出量がオゾンによって変化しないという報告例もあるのですが、多くの研究では変化するということが指摘されています。Tani の研究によりますと、コナラ、ミズナラに 1 年間にわたってオゾンを曝露し、イソプレンの放出特性を調査した結果、両樹種においてイソプレン放出速度はオゾンによって減少するが、程度には樹種間差があるというようなことを報告しています。逆に、オゾンによって、そういう BVOC の放出量が増える結果もございます。Miyama の研究では、3 品種のスギ苗（河津、ドンデン、屋久島）に野外空気の 2 倍の濃度のオゾンを曝露して、モノテルペンの放出特性を調査しました。そうしますと、特に屋久島スギにおいて、オゾンは BVOC の基礎放出速度を増加させました。また、Miyama は夏と冬に 3 品種のスギ苗にオゾンを曝露しました。モノテルペンの放出速度は、ドンデンスギでは冬季のオゾン曝露によって上昇、屋久島スギでは夏季に上昇しました。いずれにしても、このようにオゾンは樹木の BVOC の放出量を変化させます。なので、これまでは NOx などの排出量等から将来のオゾン濃度が予測されてきたわけなんですけど、そのオゾン濃度が今後、例えば高くなったときに、BVOC の放出量が変わると、それによってもオゾン濃度が変わるといったような相互作用もございますので、少しややこしい話ではあるのですが、そういう影響も考慮して、大気オゾン濃度の将来予測を行い、かつ、樹木へのリスク評価をすることも期待されます。

以上がオゾン影響のリスク評価における不確実性についてです。

ここまでが特に重要なところなので細かく説明させていただきましたけれども、以降、

ちょっとかいつまんで、特に重要なところだけ説明をしたいと思います。

4. 群落光合成に及ぼす影響です。

これまでに説明してきたような研究というのは、苗木にオゾン曝露する研究でしたけれども、北海道大学のほうで開放型のオゾン曝露設備というのがございまして、ブナとミズナラの 10 年生の幼木、比較的大きな樹木を対象としてオゾン曝露している研究成果がございまして、その辺りで分かってきたこと等について紹介をさせていただきます。

特に重要なところとしましては、こちらです。樹木の場合は、樹冠が結構発達しておりますまして、いわゆる陽葉と陰葉みたいな、樹冠位置、上のほうの葉っぱと下のほうの葉っぱというのははっきりと違いがあります。それによってオゾンの影響も違ったりもするというような話です。Watanabe は開放系オゾン曝露実験で、ブナとミズナラを対象に樹冠上部と下部の葉の光飽和の純光合成速度を調査しています。オゾンによる影響には、樹種間差が認められています。ブナの純光合成速度の低下は、8 月と 10 月、樹冠上部の葉においてのみ有意に認められました。一方で、樹冠下部ではオゾンの影響がなかったということで、ブナの場合は、樹冠上部の葉のオゾン感受性が高いというようなことが示されました。一方、ミズナラでは、10 月に樹冠上部と下部の両方で、オゾンによって光飽和の純光合成速度が僅かに低下したということで、ミズナラの場合には着葉位置による感受性の違いは認められませんでした。こういう樹冠位置によるオゾン感受性の違いというのはいろんなところでこれまでも研究されてきています。その後、Kinose の研究では、そのブナにおきまして樹冠上部の葉のオゾン感受性が高かった、この原因としてオゾン吸収量が多いからだというような、メカニズムの解明もしてございます。

この辺りは割愛をさせていただきますまして、そういった大きな樹木に対するオゾン曝露の実験もあるのですが、「フラックス観測ネットワーク」、フラックスタワーを利用した観測で解析をしているケースもございまして、このフラックスタワーを使いますと、森林の群落レベルのオゾン吸収量を計算できたり、あるいは CO₂ のフラックスから総一次生産 (GPP) を計算することができます。要は、その森林レベルでのオゾン吸収量と光合成との関係を解析しているということになります。

その成果を少しだけ紹介させていただきます。ここからです。Kitao の研究では、オゾン吸収量と GPP との関係を複数年にわたって解析した結果、オゾン吸収量が多い年には、春先の GPP が高いということが明らかになりました。要はオゾンによって光合成が増えていくというような状況です。オゾンによる刺激が葉の成熟を早めていることが示唆されました。逆に、オゾンの悪影響を示すような報告もございまして、オゾンの感受性が比較的高いブナにおきましては、夏から秋にかけて葉の老化がオゾンによって促進されることで、落葉が早期化するとともに GPP も低下することが明らかになっています。まだデータは少ないのですが、このように春先とは正反対の結果も得られておりまして、今後、森林の二酸化炭素吸収量のモニタリングなども必要でございまして。

以上、4. 群落光合成に及ぼす影響についてでした。

最後に、生物間相互作用に及ぼす影響について、こちらもかいつまんで説明をさせていただきます。

病気や昆虫からの攻撃に対する植物の防御というのは、環境条件によって変化することが知られています。ここではオゾンによってこういう防御能力が変化するというような話です。研究結果によるのですが、例えば Sugai はハルニレに対するオゾン曝露実験によって、そういう虫害の、虫食いの防御物質であるタンニンの低下、ニレハムシの個体数の増加を確認しています。これは、どちらかというオゾンで害がひどくなるというような、そこまでは確認していないんですが、そういうような結果なんですが、一方で、Sakikawa はシラカンバ苗の葉の食害、主にハンノキハムシによるものなんですけれども、これが開放系オゾン曝露によって逆に減少するというようなことを報告しています。オゾンをかけると虫が減って食害も減るということなのですが、オゾンがあることで虫がそれを嫌って寄ってこないんじゃないかというようなことが考えられるのですけれども、その後、Masui の研究で、そういうオゾンによる直接的な忌避効果、誘引効果はないというようなことも分かっています。

あと、すみません、前後しますが、昆虫はそもそも植物の放出する BVOC を感知して寄ってくるのですが、その後の研究で、植物が放出する BVOC がオゾンと反応して、オゾンが BVOC 成分の変化を起こすことで間接的に虫の誘引効果を低下させているというようなことが示唆されております。

次に、5.2 外生菌根菌との共生に及ぼす影響です。

まず、外生菌根ですけれども、植物と共生しております。植物側はこの菌根に光合成産物を供給していて、逆に菌根は植物に水やリンや窒素などの栄養元素を供給するというような共生関係になっています。こちらは一般的には、この Watanabe の研究で紹介しますと、ブナ苗の菌根菌の定着率がオゾンによって低下するというようなことが示唆されています。一般的にはこういうふうな影響でして、オゾンによって菌根菌を介した水や栄養獲得能力が変化、低下したりすることを示唆しております、間接的に樹木の成長にも影響が及ぶ可能性があります。

以上、生物間相互作用に及ぼす影響でした。

最後、まとめになります。我が国における樹木の乾物成長にオゾンが及ぼす影響に係る知見を取りまとめました。オゾンの曝露実験からは、現状濃度のオゾンによって、幾つかの樹種の乾物成長が低下することが報告されています。さらに、オゾン曝露実験から得られる AOT40 と樹木の個体乾物成長との関係に基づいて、ブナにおいては現状濃度のオゾンで年間の成長が 5%以上低下している日本の森林地域が存在することを示唆する知見が認められました。樹木は多年生植物でして、累積的なオゾンの影響も懸念されます。また、一方で、オゾン感受性には樹種間差があること、気象条件や栄養条件などの生育環境によ

って感受性が変化するということが報告されておりました、オゾンによる成長低下予測の結果は慎重に解釈する必要があります。

私のほうからは、資料2の説明は以上になります。

【伊豆田座長】 黄瀬委員、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お願ひいたします。

どうぞ。

【青野委員】 青野ですけど、どうぞ。

【伊豆田座長】 すみません。米倉委員、先に。

【米倉委員】 すみません、じゃあ、米倉から先にさせていただきます。

ちょっと4点、5点ぐらいあるので手短かに質問させていただきます。まず、「乾物成長」というふうに表題で示していますけれども、これは単純に「成長」でいいのかなと思います。その理由としては、その文章の中は「乾物成長量」だったり、「乾燥重量」だったり、「成長」だったり、いろんな表現が混在しているのでどうかなというところが1点目です。

2点目は、55行目以降に様々な樹木での影響があるというのを紹介されていますけれども、具体的にどういう樹木で研究がなされているのかというのは知りたいかなというところで、具体的に落葉広葉樹だったらどういう樹種かをお示しいただいたら、よりみんなに分かるかなというところがありました。

あと、様々な研究をご紹介いただいているんですけど、リスクのところでもおっしゃっていたように、成木と苗木では違うというところがありますので、苗木実験なら苗木実験という形で、「苗」というふうに入れている部分もありますが、その辺をきちんと表記したほうが誤解を与えないかなと思いました。

あと、一番気になったのは、3.1のオゾンリスク評価の事例のところですけども、図1と図2では、このy切片をどう取るかが異なっています。だから、ドーズレスポンスを引いてクリティカルレベルを出す際、その5%低下というのをどう取るかというのは、傾きの絶対値で計算したものなのか、このドーズレスポンス式で計算したものなのかで違ってきます。多分、図2に関しては、y切片は100で計算してリスク評価していると思うんですね。

【黄瀬委員】 そうですね、はい。

【米倉委員】 その辺は、やはりきちんと示さないと、傾きの絶対値で5%の値を出すのか、1のようにドーズレスポンス式で、100を超えててもとか、98ぐらいからy切片がスタートしているような樹種とかも多分あるので。

【黄瀬委員】 こちらですね、はい。

【米倉委員】 その辺、我々はそれ分かって示しているんですけども、その点の誤解を招かないような形できちんと、どういうふうにして出しているのかをお示ししておいたほうがいいのかなというところがあります。

以上、簡単ですが。

【黄瀬委員】 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。どうですか、黄瀬委員。

【黄瀬委員】 米倉委員のご指摘のとおりかと思しますので、事務局と相談しながら資料を修正していきたいと思えます。

また、データの見方といいますか、解釈の仕方といいますか、基本、この資料は元の論文のデータをそのまま持ってきただけですので、新たに再解析したりとかはないのですが、やはり研究によって、この縦軸の切片を 100 にする、しないとか、そもそも縦軸が個体乾重量にするのか成長量にするのかとか、いろんところが違ってしまっていて、その点、今回ご紹介しなかったんですが、少しだけ本文中でも触れているところはあるんですけども、注意すべき点はしっかりと文章にまとめていきたいと思っております。

以上です。ありがとうございます。

【伊豆田座長】 では、よろしく願いいたします。

それでは、青野委員、どうぞ。

【青野委員】 国立環境研究所の青野です。

3 点ほど質問というかコメントさせていただきたいと思えます。いずれも細かいことではあるのですが、最初、行数で言うと 28 から 30 行目ぐらいの割と冒頭のところなのですが、28 行目の最後のほうに「街路樹や公園の樹木について」という記述があって、それで 30 行目の中盤から「関東におけるスギ枯れに関連して」というふうに書いてあるのですが、この関東におけるスギというのが、多分、これ山地とか平地林のことだと思うんですけど、一言、その関東の森林とか山地とか、そういう言葉があるといかなと思えました。

あと、そのちょっと下の 37 行目ですね。「現実レベルのオゾン」というふうに書いてあるのですが、この後に 78 行目とか以降に「現状濃度」というのが何回か出てくるんですね、言葉として。なので、現実レベルというのとすっが入ってはくるんですけど、場合によっては用語の統一をしたほうがいいかもしれないと思えました。

あと、もう一つは、10 ページの図 3 ですが、地図のところですね、日本地図に四つの樹種が書いてあるんですけど、これ、図をぱっと見て、ブナ、コナラ、ミズナラ、シラカンバ、図の中に学名しか書いていないので、そうですね、図 3 の説明のところにもブナがどの学名かとかいうのを括弧書きで書いておくと、これを知らない人が見たときにも分かりやすいかなと思えました。

以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

黄瀬委員、どうでしょうか。

【黄瀬委員】 コメント、ありがとうございます。全くご指摘のとおりですので、その辺

り、ブナ、コナラ、ミズナラ、シラカンバと、見て分かるように修正いたします。

また、本文中の「現状レベルのオゾン」だとか、そういうところの用語も統一して、あと、スギが出てきたときに森林の樹木をターゲットとしているということも説明を入れたいと思います。ありがとうございます。

【伊豆田座長】 先ほどの「現実レベル」と「現状レベルのオゾン」という表現ですけど、恐らくこれは、私が書いた論文で「Ambient levels of ozone」という表現を使っているのので、「現状レベルのオゾン」と入れてあるのだと思うのですが、どちらかに統一するとしたら、どちらですか。現状といっても、そのとき、そのときの現状と今とは違えますから何とも言えないのですが、どうですか。「野外レベル」という話になるのですか。

【黄瀬委員】 その点は環境省の方からですかね、ご指摘いただきまして、やはり「現状濃度のオゾン」というのがよく分からないというところで、ここは少し補足を入れてあります。何年にどこで行った実験なのかというふうに書いてあるのですが、必ずしもそうっていないところもちょっとあるかもしれませんし、そこは確認いたしまして、できるだけそういうような形で補足を入れられるようにしていきたいと思います。用語的にはどうでしょう。その「現実レベル」なのか「現状濃度レベル」とか、特には。

【伊豆田座長】 そうですね。

【黄瀬委員】 よく見るのは「現状濃度」かなとは思いますが。

【伊豆田座長】 その時代時代の現状レベルのオゾン濃度でしょうね。

【黄瀬委員】 ここは 100 ppb 未満のということで書いてありますので、特に問題もないかなと思うのですが、用語は統一するようにいたします。

【伊豆田座長】 はい。それでは、その辺を全体的に検討してください。よろしく願いいたします。

【黄瀬委員】 はい、ありがとうございます。

【伊豆田座長】 それでは、玉置委員、どうぞ。

【玉置委員】 国環研の玉置です。

説明、ありがとうございました。ちょっと私のほうから、これは勘違いかもしれないのですが、205 行目の文章の「全国平均の純光合成量」というところが多分、図 3 の低下率に当たると思うのですが、図のほうは「CO₂ 吸収量」というレジェンドというかタイトルになっていますが、文章では「純光合成量」になっているんですが、これは誤解を与えませんかね。

【黄瀬委員】 よろしいでしょうか。

【伊豆田座長】 はい。

【黄瀬委員】 はい。すみません、私も読んでいて気になったところで、用語を統一するようにいたします。

【玉置委員】 そうですね。多分、論文では「CO₂ 吸収量」となっていたと思うので、

「CO₂吸収量」に統一でいいかなと思いました。

【黄瀬委員】 はい、ありがとうございます。

【玉置委員】 あと、最後のまとめの部分、下のほうですね。6. まとめのところ、377行目のところで、年間成長量について言及があるのですが、乾物成長、これブナだけ特筆してあるんですが、ほかのデータもあるんですが、ここにブナだけ書いたのは何か理由があるのでしょうか。

【黄瀬委員】 回答させていただきます。よろしいですかね。結局、森林でオゾン濃度を測っているところが、データがそもそも神奈川県の丹沢ぐらいしか得られるデータがなくて、あそこはブナが生えているということで、ブナのみ対象としています。この5%以上低下というのは、この実験的研究で得られたオゾン曝露量、AOT40と成長との関係と、あと、それに実際の丹沢の濃度を当てたときに6%ぐらい年間で成長が低下しているよというような予測をしたのですが、そういう解析をできるのがブナしかなかったということになります。

【玉置委員】 了解しました。いわゆる人工的に当てた場合と実際の濃度測定をやっている場所に生えている木がもうブナしかないと。

【黄瀬委員】 そうですね。

【玉置委員】 ということで、ブナでしか、ここ現状でいいのかどうか分かりませんが、書きぶりは、これは書けないということでこれを書いたということでしょうか。

【黄瀬委員】 はい。

【玉置委員】 はい。あと、ちょっと論文にはこういうことは書いてないと思うのですが、例えば成長量と炭素固定量というのはイコールかどうか分かりませんが、ゼロカーボンの観点で見ると、例えば5%の成長低下、あるいは例えばCO₂吸収量の何%低下というのはCO₂にするとマイナス何tになるのかというのは、すごく興味があるところかなと思ったんですけども、どこかにこういうことを書くことは可能ですかね。それとも、こんなことは論文にしないから書きたくないという感じですかね。

【黄瀬委員】 そういう論文があれば、基本は知見の取りまとめですので、その論文でどこまで言っているか次第なのですけれども。

【玉置委員】 そうですね。例えば森林の固定量、あるいは森林があることでこれだけマイナスになっているというデータは多分あるんですよ。あと、森林1ha当たりどれぐらいの吸収量を持っているというデータも、それがブナ林なのか何林なのかちょっと分からないんですけども、こういうオゾンとは無関係のところで固定のデータがあって、それを引っ張ってきて無理やり当てはめるという計算法が可能なのか。ちょっと暴論ですかね。

【黄瀬委員】 そうですね、改めてこちらで解析して、データをエリアで計算してみることはできると思うのですが、事務局と検討の上、ちょっと考えてみたいと思います。

【玉置委員】 はい。

【黄瀬委員】 解析上はできると思います。ちなみに、やはりゼロカーボンやカーボンニュートラルの観点で、成長ではなく炭素固定で考えることは重要なことと思うのですが、成長と炭素固定の違いは、ざっくり言うと、炭素濃度ですね。成長量というのは乾物量なので、その植物体の重さ当たりの炭素濃度が変化していなければ、イコール炭素固定量だというふうに考えてよいと思うんですが、なかなか論文として出ていないかもしれないですが、これまで研究はやられていて、炭素濃度にオゾンがかなり大きな影響を与えるということはあまりないようなデータが多いので、イコールと考えてもいいかもしれないですが、その辺りもちょっと検討しまして、必要に応じて、この資料の中に組み込めればと思っております。ありがとうございます。

【玉置委員】 環境省さんは今の組み込む必要があるかどうかということに関してはどうでしょうか。

【松浦課長補佐】 環境省、松浦でございます。

ご質問、ありがとうございます。ちょっと研究の内容の部分、理解し切れてない部分がありますけれども、ディスカッションをお伺いした印象としましては、まずはこの検討会の目的は、現状、オゾンが植物に与える影響についての科学的知見をきっちり整理しようというところに置いていますので、今、先生からご提案いただいた内容というのは、ちょっと抽象的な言い方になってしまいますけれども、その先の考察的な部分に該当するのかなと感じておりますので、必ずしもこの報告書の中に記載する必要はないのかなというふうに、今のディスカッションをお伺いした限りでは感じました。

【玉置委員】 分かりました。多分、これは報告書というか取りまとめであって、先々に何かを提案してくるときに、こういう原文をつけるような根拠になる別のものとして扱うということで私もいいような気がします。ありがとうございます。

【黄瀬委員】 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。

渡辺委員、コメントはありますか。

【渡辺委員】 東京農工大学の渡辺です。

今、ちょうど玉置委員がお話しされていたところに関連してなんですけれども、日本の森林で炭素固定がどれだけ行われているかという調査は確かに 2000 年代中盤ぐらいでしようかね、結構されていた時期があったんですけれども、やはり多くは森林に関する調査がもともと行われていた針葉樹に関する内容、特にスギ、ヒノキ、カラマツとかですね、いわゆる造林樹種のほうでかなりやられていて、広葉樹に関しては、広葉樹というような大きくくりになっていることが多いかなと思います。それに対して、今日、黄瀬委員からお話しいただいた影響評価というのは、実は広葉樹にかなり偏っているというところがありまして、リスク評価もオゾン吸収量ベースになるとほとんど広葉樹になるということで、現状としてはその辺りにちょっとミスマッチといいますか、林業的な視点からは針葉樹が

調査されてきていて、オゾンの実験的には、やっぱり広葉樹のほうが扱いやすいというところもあったので、世界的にも広葉樹の知見がたまっていると。この辺りはちょっと今後是正していかなければいけないといえますか、針葉樹への生理影響とか、広葉樹の毎木調査のようなことをやっていく必要があるのかなというふうに考えており、ちょっと現状としては、コンピューター上で計算することはできると思いますけれども、現実的な数字にするにはちょっと難しいのかなというのが、これは私の個人的な感覚です。

以上です。

【伊豆田座長】 どうもありがとうございます。

ほかにご質問、ご指摘等はございますでしょうか。

【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】 すみません。ご説明、ありがとうございました。まとめにありますとおり、その成長が5%低下するということについて、本文中にも5%というのが一つの指標になって話が進んでいたと思うんですけども、5%がその基準になっているという説明というのは、この文章にありましたっけ。もしなければ5%が信頼区間から考えて有意な低下が起きていると判定されているので、それを一つの基準にするといったような記述があると、まとめにも出てくるぐらいの数値なので、説明があってもいいのかなと思ったんですけども、いかがでしょうか。

【黄瀬委員】 ありがとうございます。その記載は本文中になかったので、ぜひ入れたいと思います。

あと、この5%というのは統計を考えた上でというのが、ちょっと私自身も把握してなかったのですが、そのような理解でよろしいのでしょうか。

【渡辺委員】 すみません、東京農工大学の渡辺ですけれども、よろしいでしょうかね。先にちょっと割り込んですみません。

【伊豆田座長】 はい、どうぞ。

【渡辺委員】 5%の低下は、幾つかの考え方はあると思いますけれども、統計的なところでは、ヨーロッパのほうのクリティカルレベルの算出において、統計的に必ずしも正確な方法ではないのですけれども、5%以上低下した場合は有意な低下を示すというような統計的な解釈をして5%低下という一つの基準がつけられた経緯があります。基本的にはそこが一つの根拠となるということだと思います。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

ほかにご質問、ご指摘はございませんでしょうか。

それでは、伊豆田から二つほどお聞きします。一つは、先ほど説明がありましたように、アカマツのオゾン感受性が大分違うというお話がありましたが、これに影響する要因というのはどういうものが考えられるのでしょうか。もう一つは、ブナのオゾン感受性という

か、ブナのオゾンによる成長低下というのが、実験と現場の丹沢で大分違っていたというお話もあったのですが、この理由は何か、この資料の中に出てきましたか。この2点、アカマツのオゾン感受性とブナのオゾン感受性の違いに關与する要因に關して、何かこの資料の中に記述はありましたか。

【黄瀬委員】 ありがとうございます。ご指摘のところ、まずアカマツのオゾン感受性について Kohno の表 1 のデータとか、伊豆田先生と松村さんのこのデータとかですとアカマツはオゾン感受性が高いと分類されていますが、こちらの研究だとそうでもないというところについて、正直申しますと、原因は分からないになるのかなと思うのですが、一応、軽く可能性として書いているのは、この辺りですね。その生育条件によって、例えばアカマツ一つで見ても、気温だとか湿度だとか光環境だとか、その生育条件に応じてオゾンの影響が出たり、あるいは出なかったりというようなオゾン感受性が変わったりすると。やはり実験が違くと何もかもが違うので、そういう生育条件によってオゾンの影響が出やすかった実験と、あまり出なかった実験とがあるのかなというのが、消去法というか、これぐらいしかないだろうということなのではと思いますが、この辺りが一つ原因として考えられるかと思います。

2 点目の、ブナの成長低下率が、推定と現場観測とで全然違うという話なのですが、推定だと 6%低下で、現場観測だと年間 27%低下ということなんですけども、こちらも、この武田と相原(2007)の研究論文のほうに、その原因が書いているわけでもなく、はっきりとした原因は分からないというのが実際のところでは。

ただ、こちらもやはり、これまで言われていますとおり、生育環境でオゾンの影響が違うというのがやはりありますから、そういう違いがもしかしたらあるのかもしれないというところで、ただ、いずれにしても、知見が圧倒的にまだ少なく、この森林で調査した実験結果も本当に限られていますので、この辺りのデータをもっと集積しないと、見えてこないのかなというふうに感じております。

【伊豆田座長】 はい、ありがとうございます。よく分かりました。

ほかにご質問、ご指摘はございませんでしょうか。よろしいでしょうか。

はい、どうぞ。

【松浦課長補佐】 環境省の松浦です。

ちょっと何点かお伺いしたいのですが、まず一つ、冒頭のところで、これまで温室とか、人工気象室またはオープントップチャンバーなどを用いて試験がなされてきているということが書かれておまして、その後、55 行目から 62 行目辺りに、多数のこれまでの研究が記載されているかと思えます。その後にリスク評価に關する表が出ておまして、オゾンの曝露と乾物成長と、いわゆる定量的な評価を行ったような研究が紹介されているかと思えますけれども、今日の資料 1 のところで、農作物の場合、以前は FAC 試験がなされていて、それは定量評価にはあまり適してないというような記載があったかと思うんですけれ

ども、樹木に関して、定量的な評価を行う場合の実験的な特徴と申しますか、定量評価する場合には、こういう試験が、試験方法が取られているといったようなことがありましたら、その辺り、ご教授いただければと思うんですけども、いかがでしょうか。

【黄瀬委員】 はい、ありがとうございます。

そうですね、基本的には、その定量的な関係をとるときに、どの手法がいいかというところ、どれもやはり一長一短はあって、たしか以前の検討会で、その辺りも触れてあったと思うのですが、基本的には、樹木の研究をやるときに、どの手法が使われているかといいますと、オープントップチャンバー、結構大型のオープントップチャンバーであったり、ビニールハウスみたいなオゾン曝露チャンバーを使っているケースがあります。逆に、人工気象室のデータとかは、あまりないというところかなと思います。

ただ、それにもやはり不確実性がありまして、実際の野外の環境とはちょっと違ったりもするということで、例えば、こういう温室やオープントップチャンバーは、どうしてもその中の気温が高くなってしまいますから、実際の外の環境とは違うというところは、一応問題視はされています。ただ、これも別の資料に書いてあったと思うんですけども、その気温が高いと、結局、オゾン吸収量が変わって、オゾンの影響が変わってくるということで、そのオゾン吸収量を押さえていけばいいんじゃないかというような話もございます。

一方で、今回、あまりご紹介していないのですが、開放型のオゾン曝露ですね、大型の樹木の実験のほうで、開放型のオゾン曝露設備もちょっとあるんですが、そういうもののほうが、植物体を囲わない分、気温が高くなったりなどしないとか、そういうところが現実の環境に近いということで、こういう手法も提案されていると。ただ、これはこれで問題はあったりするのですが、どれが適しているかとかは、なかなか難しいところかと思えますというのが私の個人的な感想です。

今ので回答になっていますでしょうか。

【松浦課長補佐】 はい、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】 恐らく、今のご質問は、FAC 試験だと、オゾンの曝露量と収量との関係性は取れないというのが、農作物のほうで記載があるけれども、樹木ではできているという、その違いの話だったと思うんですけど、農作物のほうは、FAC 試験で、そのオゾン濃度が報告されていないので、きれいな空気と野外の空気そのまま成長何%低下したけれど、そのときの低下がどれぐらいのオゾン濃度で引き起こされたかというのが、農作物で報告されている FAC 試験のほうでは、あまりないということで、定量的な関係の解析ができないという状況です。一方で、今回、黄瀬委員にお話しいただいた曝露実験に関しては、様々な曝露方法が取られていますけれども、オゾン濃度をきちんと測定しているというこ

とで、横軸にオゾン曝露量をとって、縦軸に成長量をとって、定量的な関係を解析することができると、そういった違いかと思えます。

それはよろしいですかね。

【松浦課長補佐】 はい、ありがとうございます。大変よく理解できました。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。米倉委員、どうぞ。

【米倉委員】 多分、曝露の試験の方法というのは、農作物も樹木も、基本的には同じで、今日の参考資料3で曝露試験の方法は、既に示されているのですが、そこにもいろんな課題というのが示されているので、でも、曝露方法は、基本的に樹木も農作物も一緒というふうに思っていた方がいいかと思えます。

以上です。

【伊豆田座長】 ありがとうございます。

ほかにご質問、ご意見等はございますでしょうか。よろしいでしょうか。

そういたしましたら、質疑も出尽くしたようですので、議題(3)に移りたいと思えます。はい、黄瀬委員、ありがとうございました。

【黄瀬委員】 ありがとうございます。

【伊豆田座長】 続いて、議題の(3)日本の森林衰退とオゾンとの関係に係る科学的知見の整理結果については、資料の作成にご協力をいただいた渡辺委員より、ご説明をお願いいたします。

それでは、渡辺委員、よろしくお願いたします。

【渡辺委員】 はい、東京農工大学の渡辺です。よろしくお願いたします。

私のほうでは、日本の森林衰退とオゾンの関係（案）ということで、こちらに、目次にありますけれども、「はじめに」と「まとめ」の間に八つの事例を紹介するというような形で、この章を構成しております。

早速見ていきますけれども、この「はじめに」のところでは、森林衰退というものを定義した後に、これまで、様々な森林衰退が日本各地において観察されているのですけれども、その中でオゾンに関連した調査が行われた衰退事例を紹介するという形で始めております。

こちらにお示した表1ですけれども、実際にオゾンとの関連が考えられている、その事例をこちらに並べています。今日お話しする目次と同じものがここに載っていて、それぞれの樹種、ここの部分がオゾンに関連した調査ということで、オゾン濃度は全て測っているのですけれども、その他の、特にオゾン曝露実験ですね、これが行われているかどうかというところを記載しています。また、それ以外に、今日お話ししますけれども、オゾンだけでは、その衰退が引き起こされるとは限らないということで、その他の要因についても調査されているということ、この辺りを事例を一つ一つみながらお話させていただければと思えます。

はい、最初の丹沢山地のブナについてです。

丹沢山地は、関東地方の南西側に位置するところですが、ブナ林は、この山地の800 m から上部、比較的高いところに分布しています。この枯死というのは70年代から80年代頃に始まって、2000年代以降も衰退が継続しているというのが特徴です。その中でも、特に高標高域ということで、こちらに示したような場所での衰退がまだ進行しているというふうに認識されています。

それに関する調査がこれまで行われてきたというところで、その一つの調査として、この檜洞丸山頂付近の南斜面におけるブナの衰退というところでは、個葉レベルで、葉の光合成とか、水利用効率とか、クロロフィル含量など、こういったものが低いという、いわゆるうまく光合成できていない葉っぱであるということであったり、夜間、蒸散とか、蒸散速度とか気孔コンダクタンスといった、こういったものが衰退木において低いというような形で、葉のガス交換がうまくできていない、あまり適切にできていないという特徴があり、特に、この蒸散、気孔コンダクタンスが高いということから、健全木に比べて水ストレスを受けやすいということが言われています。

一方で、土壌の分析、あるいは二酸化硫黄とか二酸化窒素といった大気汚染物質の分析に関しては、あまり大きな影響はないというふうに考えられています。これに対して、大気汚染の中でもオゾン濃度に関しては、南斜面のほうが高いということで、これが、そのブナに対して悪影響をおよぼしている可能性が指摘されてきました。

実際に、犬越路という場所において、先ほども出てきた武田と相原の論文ですけれども、実施されたブナ苗によるオープントップチャンバー実験によって、現地のオゾンが葉の生理機能であったり、成長量を低下させていると、また、あるいは葉の老化と早期落葉を引き起こしているということが報告されています。また、これ以外にも、Suto *et al.* (2008)ですね、これは、いわゆるコンピュータシミュレーションの研究なのですが、オゾン濃度と風速の積で表されるオゾン移流フラックスというものが高い地点とブナの衰退地点が良く対応していることを報告しました。つまり、たくさんのオゾン分子が流れてきているところが衰退しているところと合っているということです。また、この斎藤(2013)においては、丹沢山地以外も含めた、周辺地域も含めた地点における樹木のオゾン吸収量をモデルによって推定し、オゾン吸収量が丹沢山地の全域で樹木に悪影響を及ぼし得るレベルということと、標高の高い地点で、特にオゾン吸収量が多いということを指摘しました。こういったことから、丹沢山地においてブナ林の衰退にオゾンが関与している可能性が高いということが指摘されてきております。

ただ、その他にも、この地域の気温上昇とか、枯死とか倒木に伴って形成されるギャップですね、木のない、葉っぱのない空間、これが林縁といいますか、風が強い風衝地のような場所になってしまい、土壌が乾燥したりすると、こういうようなストレス、あるいは虫とかシカの食害、こういったものも衰退に関与すると考えられています。

はい、続いて、立山黒部アルペンルートの中ノ平のブナについてです。

この立山黒部アルペンルートについてですけれども、ここは道路沿い、こういう観光道路ですけれども、道路沿いのブナ林で枯死が目立つということが報告されています。そこで、ちょっとこの辺り、少し割愛しますが、このブナ平と呼ばれる、ブナとスギの混交林において、バスの通行量、あと、大気汚染物質濃度として NO_2 とかオゾンですね、あとは森林動態、樹木の成長などの関係について調査が行われています。その結果、 NO_2 の濃度とバスの通行量の高い相関というものが見られているんですけれども、この濃度自体があまり高くないということで、この NO_2 が直接的に森林に悪影響を与えている可能性は低いというふうに結論づけています。

一方で、オゾンに関してですけれども、道路からの距離にかかわらず高い値を示し、平均濃度が 60ppb を超えることもあったということです。この期間に、実際に森林として枯れていたのはブナの木で、成長抑制があったのですけれども、同時期には、スギは成長がよくなっていました。このことから、その森林全体の衰退が起こっているというよりはブナ特異的であると。このときに、ブナというのはオゾン感受性が高く、スギはオゾン感受性が低いということから、ブナの衰退に対するオゾンの影響というものが指摘されたというような流れです。

この論文には続編がありまして、同地域では、それ以降の調査も行われています。少し割愛して、ここですね、ブナ平と、またブナ坂という、大体同じような標高のところでの調査ですけれども、この両方の林分においては、この森林衰退調査プロジェクトとは別にモニタリング事業というものがずっと行われていますので、ブナの成長、あるいはスギの成長をずっとモニタリングし続けているというところなんです。それを見てみると、2008 年以前と比較して、それ以降の期間において、ブナの成長は増加していたということです。先ほどの論文は 2009 年の論文ですから、2006 年までの調査結果なんですけれども、それ以降で、ブナの成長速度が増加していたということです。それで、同時期に、同じ林分に生育していたスギは、そういうような傾向はなくて、成長はしているんですけど、成長速度は横ばい、もしくは減少傾向にあったということです。

ここからは、この論文の考察になっていきますけれども、中国における大気汚染物質の排出削減が、ちょうどこの時期ぐらいから、北京オリンピックとかがありましたけれども、この時期ぐらいから本格化してきているということと、このラニーニャ的なのは気象的なところで、このときは、日本における西風が弱まるような条件だったということから、大陸から輸送される汚染物質が減少し、オゾン感受性の高いブナと、低いスギの種間関係が変化しただろうと。つまり、オゾンが低下したことによって、ブナが元気になって、スギよりも元気になることで、ブナはどんどん成長がよくなり、スギは、それにちょっと押される形で成長が停滞するというようなことになったと考えられたというふうに結論づけています。

この研究の特徴になりますけれども、従来の研究では単一の種に対するオゾンの影響が調査、あるいは議論されてきたわけですしけれども、複数の種が森林に混在する場合は、大気汚染や気候なんかも影響するかもしれませんが、森林全体の衰退がなくても植生が変化するという可能性があることを示唆する結果といえます。

はい、次は、関東平野のスギについてです。

関東平野におけるスギの衰退というのが報告されてきました。最初は、1960年から1970年代だったんですけれども、この頃はSO₂が主な影響だったというふうに考えられています。一方で、1980年代以降も、スギの成長が再び低下していたということで、本編では、ここについての調査結果をまとめています。この衰退を説明する仮説として、幾つかあるんですけれども、酸性降下物の沈着とそれに伴う土壤酸性化、光化学オキシダント、あと、これは葉っぱ側の要因ですけれども、エピクチクラワックスという葉の表面に滲出したワックスで、水の蒸散を抑制したり、紫外線による障害を防ぐ役割を持っている、このエピクチクラワックスの劣化とか浸食ですね。あと、粒子状物質による気孔の目詰まり、あと、土壤の締固めですね、こういったものの影響があるというふうに考えられています。

ここから下のほうは、幾つか、それらの事例を紹介しているところではありますが、大きく分けると、オキシダントにオゾン、あるいはオキシダントに関わる影響というところの指摘と、もう一つは、水ストレスに関わるところが指摘されています。スギは日本の主要な樹種と比較して水ストレスに弱いという点が、ある程度ちょっと対立的な形で論争が繰り広げられたというようなことがありました。

ちょっと幾つか、それぞれの論文の結果と主張のようなものがここで記載されているわけですが、一つ、この松本らの論文、オゾン曝露実験をしているんですけれども、水ストレスということを描しているところではあるんですけれども、この論文においては、オゾン曝露実験が行われていて、オゾンによる気孔調整機能の低下というものも起こっています。つまりこれ、気孔が開いてしまうような現象、実際は、気孔コンダクタンスが高くなるという現象ですけれども、これが認められていることから、1980年代の当時においては、オゾン濃度は以前に比べて低下しているということから、あまり影響はないだろうということだったんですけれども、当時に比べると、現在はオゾン濃度が高くなっているということと、オゾンによるスギの気孔調整機能が悪くなった場合には、乾燥に伴う水分ストレスへの耐性を低下させている可能性も考えられるというところ。

はい、以上から、いろいろな、まだメカニズムがあり、論争もあるようなスギの衰退ですけれども、衰退のメカニズムは、明確には明らかになっておりませんが、Takahashi *et al.* (2020)において述べられているように、都市化や気候変動そして大気汚染といった要因が複合的に関与して、樹木の健全性の低下や枯死につながったというふうに考えられています。

続いては、屋久島のヤクタネゴヨウです。

屋久島の絶滅危惧種のヤクタネゴヨウの衰退が 90 年代に報告されています。こちらに関しては、中国からの越境大気汚染としてのオゾンと SO_4^{2-} 、硫酸イオンの沈着が指摘されています。この後者に関しては、実際に沈着というものが認められており、その結果として、カリウムの溶脱であったり、ストレスエチレンと呼ばれるもので生理障害の指標となるエチレンの放出速度が高まっていたというような結果があります。一方で、オゾンに関しては、ヤクタネゴヨウのオゾン感受性がちょっと明らかになっていないため、どの程度の影響があるのかということは不明ではあるものの、北西からの風が卓越したときにはオゾン濃度が高くなり、100ppb を超えるような高濃度も観測されていることから、オゾンの影響もあるだろうというふうに考察されているところです。

次は、摩周湖外輪山のダケカンバについてです。

これは北海道の東部にある摩周湖の外輪山の、ダケカンバというカバノキ属の一種の木ですけれども、これの衰退が観測されています。オゾンの話はちょっと別のところ、前条件といいますか、環境条件ですけれども、この佐久間ら(2013)の研究から、現地の土壤が非常に養分が少ない、窒素とか可給態のリンの濃度は半分以下で、一般的な土壤に比べて半分以下ということ。あと、有効土壌深という土の深さですね、これがやはり半分程度ということで、養分、あるいは水分が非常に少ないということが、まず一つあります。これが衰退しやすいという意味で、衰退に関与している可能性が指摘されています。実際に、その衰退している、枯死しそうな木の、ダケカンバの水分特性を調査すると、やはり葉の水ポテンシャルが低かったりというようなことも示されています。

一方で、大気汚染物質に関する調査も実施されており、摩周湖の外輪山の第1展望台の脇にオープントップチャンバーを設置して、ダケカンバとシラカンバの苗木を用いた実験が行われています。その結果として、現地のオゾンが葉の光合成能力を低下させたり、オゾンによってよく見られる現象である根へのバイオマスの配分が低下しているというような実験データが得られています。一方で、酸性霧の影響というものも検討されたのですが、衰退に対しては、あまり影響はなさそうだということですね。結果的には、霧に含まれる窒素成分は、どちらかといえば栄養として使われているのではないかとということも考察されています。

このような結果から、摩周湖外輪山のダケカンバの衰退においては、特に、水分に関して脆弱な土壤環境であるということが、まず基本にあり、そこにオゾンとか酸性霧も、直接衰退に関与するかどうかまでは、はっきりは分かりませんが、影響を及ぼすファクターであるということが指摘されています。

次、7番目が奥日光のダケカンバ、オオシラビソ及びコメツガに関してです。

この地域においては、これらの衰退が 1980 年代頃から観察されています。この衰退が自然現象じゃないかという指摘もあるのですが、一方で現地では、首都圏からの移流に由来する 100 ppb を超えるオゾン、高濃度のオゾンとか、それに起因するヒドロキシ

ルラジカル及び有機過酸化物が観測されているということで、森林への影響の可能性も指摘されています。

一方で、同じような理由によって、酸性降下物の沈着が増えて、土壌酸性化という可能性も指摘されていたのですが、土壌酸性化に関連する調査結果からは、それを裏付ける結果は認められていません。ただ、この亜高山地帯に関しては、奥日光においては、こちらですね、土壌の低 Mg という立地条件は、脆弱性を生み出す要因の一つではないかというふうに指摘されています。また、前白根山においてはダケカンバの衰退がみられるところで、特に夏の土壌含水率とダケカンバの葉の水ポテンシャルが、衰退地において低いということから、乾燥の問題というものも可能性としては指摘されている。

はい、宝満山のモミについてです。

これは福岡県の宝満山におけるモミの衰退事例ですが、この調査の結果、ここに関しては、酸性雨ですね、酸性雨とか土壌の酸性化の調査を行った結果、ある程度の低い pH は認められているのですが、特に、その衰退しているところと衰退していないところの違いというものはなく、これによって衰退を説明するのは難しいだろうと。一方で、宝満山におけるオゾン濃度の観測により、100 ppb を超える高濃度のオゾンは観測されていないのですが、比較的高濃度の 60 ppb を超えるような時間数が 661 時間ということで、何らかのストレスがあるんじゃないかということが指摘されています。

最後に、奥秩父亜高山帯のシラビソについてですが、こちらにおいても、シラビソの枯死が観察されています。その中で、降水の性状とか、土壌の pH、気象条件あるいはオゾン濃度に関しての調査が行われておりますが、こちらに関しても、降水の性状とか、土壌の pH などに関しては、特に衰退を説明できるような現象は認められなかったということです。また、オゾンに関しても、平均濃度は高いものの、ピーク濃度はあまり高くなかったということで、基本的には、この立ち枯れというのは天然更新の一形態だろうというふうに結論づけられるものの、オゾンの影響も、長期的な影響としての課題はあるかなというようところで報告されています。

はい、以上が、各個別事例の紹介ということになります。

最後に、少し書いてあるのは、こういった森林衰退の事例、特に後半に出てきたところで、汚染物質の濃度を測ったりはするのですが、それ以外にオープントップチャンバー実験とか、ほかの樹種との比較といった、もう少し多角的な現地調査が行われていないものが非常に多いということで、オゾン影響との関連性が不明瞭なケースも結構多いというようことが挙げられるかと思えます。

最後の部分は、Watanabe *et al.* (2016)、これは私ではないのですが、北関東の森林において、シミュレーションでかなりの量のオゾン吸収量が推定されたということもあり、これらの地域においても、衰退していないにしても、健全性に悪影響が引き起こされているのではないかなというよう可能性が指摘されています。

はい、以上です。

【伊豆田座長】 渡辺委員、ありがとうございました。

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、よろしくお願いたします。

【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、青野委員、どうぞ。

【青野委員】 国立環境研究所の青野です。

丁寧にご説明いただき、ありがとうございました。中で一つ、これはまとめにも書いておいたほうがいいのではないかと思ったのが、3. の、立山黒部アルペンルートにおいては、ブナとスギがあって、ブナはオゾンにやられやすくて、スギはそうでもない。ただ、オゾン濃度が若干下がったところで、ブナのほうがスギよりも優越してくるというような観察結果だったかと思います。それで、一方で、関東のスギははっきりとは分からないものの、オゾンでもやられている可能性があるというようなことが示唆されているので、その複雑性をちょっと、10. のまとめのところに一言書き入れられないかなというふうに思っています。例えば、その212行目の最後のほうに、森林衰退へのオゾンの関与の可能性というところがあるのですが、ここに、その樹種、はっきりした専門用語は分かりませんが、樹種が交代していくという、交代というのは、そのチェンジですね、というようなことをちょっと書き加えられると、その樹種だけじゃなくて、生えている構成によっても変わってくるということが示せるかなというふうに思いました。

以上です。

【伊豆田座長】 いかがですか、渡辺委員。

【渡辺委員】 青野委員、ありがとうございました。

そうですね、なかなか複雑な事象をうまくまとめるのは、難しさをちょっと感じてはいるのですけれども、おっしゃるとおり、その3.と4.ですか、スギの位置付けとかが違うということから考えなきゃいけないというか、その複雑さを表すということと、そうですね、樹種の、森林の更新でしょうかね、そういった樹種の構成の変化というものも、まとめの中に少し記述ができればなというふうに思います。特に、森林衰退へのオゾンの関与というところが、もう少し衰退を、衰退という言葉だけで終わらせずに、もう少し丁寧に記述するということはできるのかなというふうに感じました。

ありがとうございます。

【伊豆田座長】 それでは、米倉委員、どうぞ。

【米倉委員】 米倉です、よろしくお願いたします。ありがとうございました。

2点あります。

表1でちょっと見ていただければと思うのですが、様々な地点、例えば関東平野とか摩周湖、あと奥秩父で、想定されるオゾン以外の衰退原因として、乾燥ストレスとい

うふうに示されていますけど、これは土壌の乾燥ストレスということでもよろしいでしょうか。やっぱり、現実には空気の乾燥ストレスというようなこともあり得ると思うので、もし土壌であるなら土壌というふうに、そこのストレスの要因について教えてください。

あと、もう一つは、これ、些末なことですけど、6.のダケカンバで、146行目ですかね、ここのチャプターだけダケカンバに学名が入っていて、ほかは入っていないというところがあるので、全部入れるのであれば入れたほうがいいし、入れないのであれば入れないでいいのかなというところが一つ、指摘させていただきます。

以上です。

【渡辺委員】 ありがとうございます。

まず、2点目のダケカンバ、そうですね、ここだけ入っています。ほかの章などもあるかと思しますので、そこで合わせるような形、恐らく学名を入れる形になると思いますので、そのように修正したいと思います。

あと、もう1点ですね、その乾燥に関しては、そうですね、ご指摘のとおり空気の乾燥と土壌の乾燥という両方の観点があります。ちょっと内容を確認しながらになると思いますけれども、基本的には土壌の乾燥が多かったと記憶していますので、その辺りを明確化するという形で修正をしたい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。

それでは、玉置委員、お願いいたします。

【玉置委員】 はい、国環研、玉置です。ありがとうございました。

この表1が非常に見やすく、多分これをざっと見ると、中に書いてあることが俯瞰できると思うのですが、ちょっとまとめ方が、例えば摩周湖ですと、オゾンとはほぼ関係ないという結論を話されていたと思うのですが、これ、全てオゾンありきで、各オゾン以外の衰退要因が一番右に書かれているんですが、オゾンは関係ある、なしというのは入れたほうがいいのかなと思ったんですが、いかがでしょうか。

【渡辺委員】 ありがとうございます。

【玉置委員】 例えば、影響大、小とか。

【渡辺委員】 はい、ありがとうございます。結論から言うと、それが分からないというのが現状だと思います。例えば、丹沢辺りではかなりの実験量があるので、オープントップチャンバーは現地でもやっているの、やはり影響しているのかなというふうに、行政のほうですが、神奈川県でもそういう方向で、やっぱりちゃんと捉えて、理解ができていますけれども、その他の調査地点に関しては、個々の研究者が調べて、こうでしたというような結果が多いために、それをもってして、この報告書で影響が大きい、小さいと判断するのは、ちょっと不確実性が非常に大きいので難しいかなというふうには思っています。どれも関連はし得るだろうという、オゾン濃度が高いという観点からですね、関連はし得るだろうとは思いますが、ちょっと程度までは表現が難しいかなというふう

に思っています。

【玉置委員】 言わば程度がないという、ないも言えないと思うのですが、大きい、小さいも言えないし、ただ、非常に可能性が低いという説明があるような、ある場所があったと思うのですが。例えば、本当に水ストレスだけで説明できるのではないかという場所もあったと記憶しておりますが。

【渡辺委員】 すみません、よろしいですか。

【伊豆田座長】 はい。

【渡辺委員】 そこ、ちょっと私の表現の仕方もあるかもしれませんが、そこまでは、多分、表現としてはしてないと思います。一番、例えば宝満山のモミとかは、オゾン濃度が高いという事象がありましたということ以上のことは言えてないので、それが影響ある、なしということまでは言及できてないケースがかなり多いかなとは思っていますので、多くの場合はそういうことが多い状況です。逆に、その影響がないという表現までも、してないかなと思います。

【玉置委員】 分かりました。なかなか難しいところで、濃度が高いから、影響し得る可能性は、全部否定できない場所だということですね、ここに挙げている場所は。

【渡辺委員】 はい、そのとおりです。

【玉置委員】 はい。そうすると、また、これ以外にこういうものもあると。分かりました。なかなか難しいですね、説明が。ちょっとこれだけを読んでも、今回は、もう衰退要因としてはあるという前提に見えてしまわないのかなというのが、ちょっと懸念なんですけども。

【渡辺委員】 はい、ありがとうございます。その点は、かなり重要なところかなと思います。オゾンによって衰退しているという表現は、基本的には、避けているはずですが。オゾンも、衰退にオゾンが関与している可能性があるぐらいまででとどめていてですね。ただ、ちょっと、その文章の中で少し、もし強いのではないかと、オゾンが衰退をしているというように誘導するようなイメージがある表現があれば、後日になるかもしれませんが、ご指摘いただければ、また、それに関しては、修正していきたいなというふうに考えております。

【玉置委員】 分かりました。もうちょっとちゃんと見てみます。ありがとうございます。

【伊豆田座長】 はい、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。よろしいですか。

質疑はもう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、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。

ないようですので、進行を事務局にお返ししますので、連絡事項等があれば、よろしく

お願いいたします。

【松浦課長補佐】 環境省、松浦です。

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す。特に、資料 2、3 につきまして、いろんな先生方から有益なご指摘を多数いただきましたので、それらを踏まえまして、事務局のほうで、黄瀬委員、渡辺委員、それから伊豆田座長等とご相談させていただきながら、修正したいというふうに思っております。

議事録につきましては、事務局で案を作成し、また、委員の皆様にご確認をいただいた後、いつもどおりホームページで公開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 5 回検討会では、PAN の影響等に関する議事を考えております。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をさせていただきたいと思っておりますので、こちらも併せてご協力のほどお願いいたします。

そうしましたら、以上をもちまして、本日の検討会を終了させていただきたいと思えます。お忙しいところ、誠にありがとうございました。