

「国産麦類中のかび毒の実態調査」の結果について

農林水産省は、かびが産生する毒素（かび毒）による農産物汚染の防止及び低減対策に取り組んでいます。

我が国で平成14年～平成27年に生産された小麦及び大麦に含まれる、デオキシニバレノール（DON）、ニバレノール（NIV）等のかび毒の実態調査結果から、国産の小麦及び大麦中のDON及びNIVの濃度は、生産年により、麦類赤かび病の発生状況に応じて異なることが確認できました。

また、本調査結果を用いて、小麦及び大麦に由来する食品からのDON又はNIVの経口摂取量を推定したところ、全年齢集団については、DON、NIVのいずれも、食品安全委員会が設定した耐容一日摂取量等より低い値でしたが、未就学児については、DON、NIVのいずれも、体重当たりの推定摂取量が全年齢集団と比較して高いことから、高濃度でDON、NIVを含む小麦又は大麦を大量に摂取した場合には、耐容一日摂取量に近い値になることがわかりました。

なお、小麦及び大麦の生産段階で、赤かび病を防除する等のDON及びNIV汚染の防止及び低減対策が適切に実施されれば、通常の食生活において、食品中のDON又はNIVの摂取によって健康に悪影響が出る可能性は低いと考えられます。

1. 調査の背景

日本の気候は温暖で湿潤であるため、麦類赤かび病が発生しやすく、結果として麦類の品質や収量が低下する可能性があります。赤かび病の原因菌であるフザリウム属のかびは、フザリウム毒素といわれるかび毒（デオキシニバレノール（DON）やニバレノール（NIV）等）を作ります。赤かび病の防除技術が現在ほど進んでいなかった昭和30年代には、赤かび病の被害を受けた米麦を通常の量を食べたことによる集団食中毒が国内で複数報告されています。これらの中毒の原因は、DONやNIVであったと考察されています。

農林水産省は、国産麦類の赤かび病の発生を防止し、DON及びNIVの濃度を低減するため、「麦類のDON・NIV汚染低減のための指針」及び「指針活用のための技術情報」を平成20年12月に策定・公表し、都道府県と協力して、「指針」の生産者への普及に努めています。また、国産の小麦及び大麦のDON、NIV等の含有実態を把握し、指針の効果を検証するために、「食品の安全性に関する有害化学物質のサーベイランス・モニタリング中期計画」等に基づいて、国産の小麦及び大麦に含まれるフザリウム毒素を調査してきました。

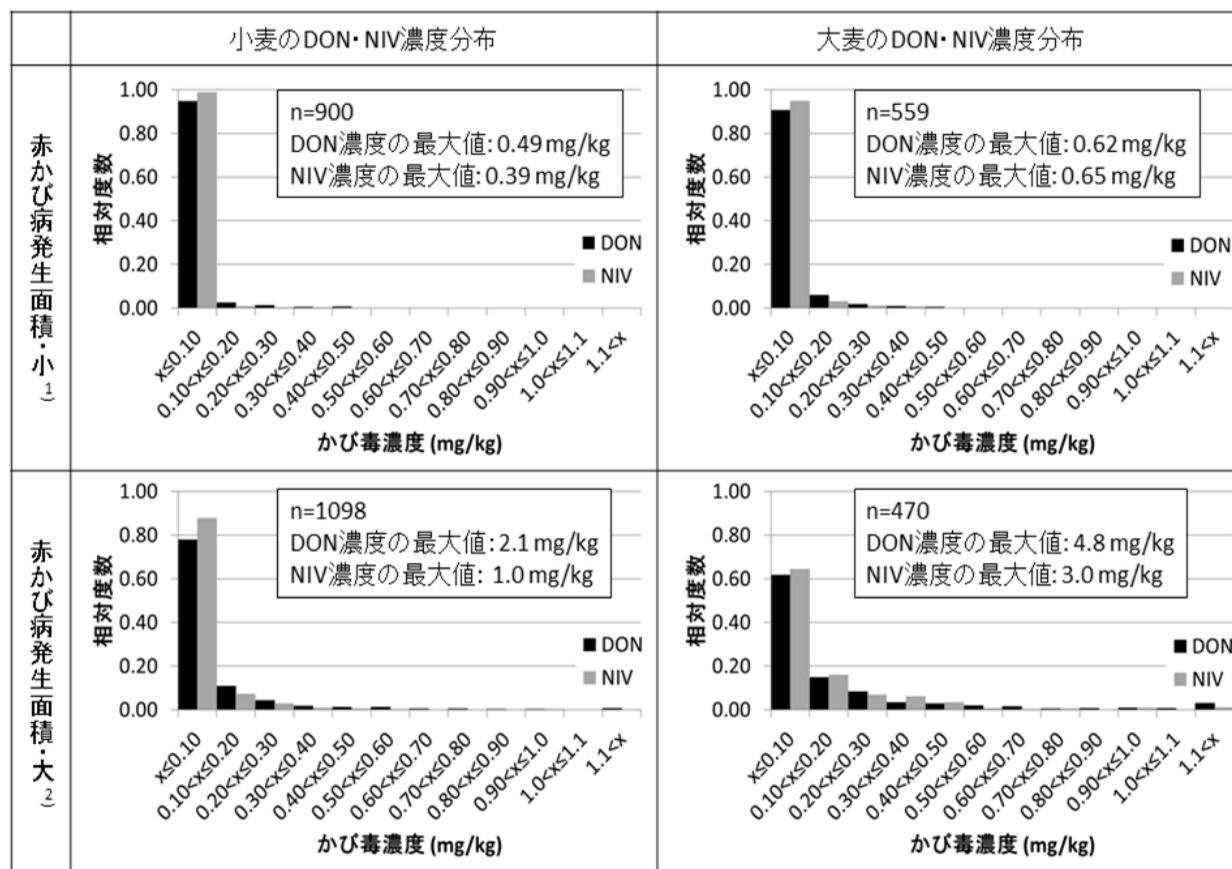
この調査は、小麦及び大麦における赤かび病の発生やかび毒の生成が生産年ごとの気象状況等に大きく影響を受けることが知られていることから、継続的に行う必要がありますが、今般、平成14年から平成27年までに実施した調査結果を集計、解析しました。

2. 調査結果の概要

- 平成14年から平成27年までに調査した国産の小麦及び大麦（いずれも乾燥調製後の穀粒。以下同じ。）に含まれるフザリウム毒素の中で、DON及びNIVの含有濃度はその他の毒素よりも高い値でした。また、大麦中のDON及びNIVの濃度は、小麦中より高い傾向にありました。なお、小

麦中のDONの暫定基準値（1.1 mg/kg）を超えたのは、総計1998点の小麦試料のうち平成14年の6点のみで、平成15年以降ではありませんでした。

- ・国産の小麦及び大麦中のDON及びNIVの濃度は、生産年により、赤かび病の発生状況に応じて異なっていました。すなわち、赤かび病発生面積が大きかった年には、発生面積が小さかった年と比較して、より高濃度にDON又はNIVを含む試料が多くなっていました（下図参照）。なお、小麦及び大麦の収穫後には、未熟な穀粒や病害を受けた穀粒が選別・除去されますが、赤かび病発生面積が大きかった年には、外見上は健全な穀粒においてもDON及びNIV濃度が高い傾向にありました。このことは、赤かび病の予防対策の実施が、DON、NIV濃度の抑制に重要であることを示しています。



1) 赤かび病発生面積が小さかった年: 平成17, 19, 20, 21, 25, 26, 27年 (国内の麦類作付面積に対する赤かび病発生面積の割合が20%未満)
 2) 赤かび病発生面積が大きかった年: 平成14, 15, 16, 18, 22, 23, 24年 (国内の麦類作付面積に対する赤かび病発生面積の割合が20%以上)

図: 麦類赤かび病の発生面積の大小別の小麦及び大麦中のDON、NIV濃度の相対度数分布

- ・ほとんどの産地で、DON及びNIV汚染の防止・抑制効果が高いとされている農薬の散布による赤かび病防除や、穀粒の粒厚選別等の「指針」で推奨している低減対策が実践されていました。
- ・本調査結果を用いて、日本人における小麦及び大麦に由来する食品からのDON又はNIVの経口摂取量を推定したところ、DON、NIVのいずれも、全年齢集団では食品安全委員会が設定したDON、NIVの耐容一日摂取量（DON:1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重、NIV:0.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重）やFAO/WHO合同食品添加物専門家会議（JECFA）が設定したDONの急性参照量（8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重）より低い値でした。
- ・未就学児では、DON、NIVのいずれも、体重当たりの推定摂取量が全年齢集団と比較して2倍程度高いことから、高い濃度でDON、NIVを含む小麦又は大麦を大量に摂取した場合には、推定摂取量が耐容一日摂取量に近い値となることがわかりました。

表: 小麦及び大麦由来の食品からのDON、NIVの推定経口摂取量（平均値）

集団	推定経口摂取量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日)	
	DON	NIV
全年齢 ¹⁾	0.11	0.065
未就学児 ²⁾	0.20	0.12

1) 未就学児を含む全年齢からなる集団。

2) 1歳～6歳の子供からなる集団。

- ・子供のDON、NIV摂取量をより低く抑えるために、小麦及び大麦の生産段階で、「指針」に基づくDON及びNIV汚染の防止・低減対策を適切にとる必要があります。なお、小麦及び大麦の生産段階で赤かび病を防除する等のDON及びNIV汚染の防止及び低減対策が適切に実施されれば、通常の食生活において、小麦及び大麦由来の食品からのDON又はNIVの摂取により、日本人の健康に悪影響が出る可能性は低いと考えられます。

3. 今後の対応

- ・国産の小麦及び大麦のDON及びNIVによる汚染は、赤かび病発生の変動と同様に生産年により著しく異なるため、生産段階における赤かび病発生防止・抑制並びにDON及びNIVによる汚染の防止・低減対策の普及に継続して努めます。
- ・本調査の解析結果、試験研究成果等の科学的知見に基づいて、「指針」及び「指針活用のための技術情報」を改訂します。
- ・国産の小麦及び大麦中のDON、NIV等のフザリウム毒素の含有実態調査を継続するとともに、必要に応じて汚染要因の解明のための研究等を推進します。

4. 参考

食品のかび毒に関する情報

http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/

<添付資料>

- ・国産麦類中のかび毒（フザリウム毒素）の実態調査結果
- ・別添1：平成14年～平成27年の国産麦類中のフザリウム毒素実態調査結果一覧
- ・別添2：平成24年～平成27年の国産麦類中のフザリウム毒素含有実態調査の方法
- ・別添3：麦類加工品から玄麦への換算係数
- ・別添4：略語及び用語解説

【お問合せ先】

消費・安全局農産安全管理課

担当者：漆山、尾松

代表：03-3502-8111（内線4507）

ダイヤルイン：03-3592-0306

FAX：03-3580-8592

国産麦類中のかび毒（フザリウム毒素）の実態調査結果

はじめに

日本では、麦類の生育後期に降雨が多く気温が高くなることが多いため、麦類赤かび病が発生しやすく、麦類の品質や収量の低下の一因となる。赤かび病の原因菌である *Fusarium* は、フザリウム毒素といわれるかび毒（デオキシニバレノール（DON）やニバレノール（NIV）等）を産生する。麦類中の DON や NIV の濃度が著しく高い場合、通常の量の食品摂取でも健康被害が生じる可能性がある。国内では、昭和 30 年代に赤かび病の被害を受けた米麦を摂取したことによる集団食中毒が複数報告されている。

現在では、過去と比較して赤かび病の防除技術が進展しており、収穫や乾燥調製の方法も改善されている。その結果、国内における DON、NIV による食中毒発生の報告はない。しかしながら、赤かび病の発生は現在も報告されている。麦類中の DON、NIV を加工や調理の工程で完全に除去することは困難であるため、麦類の生産段階で赤かび病の発生を防止することによって、麦類やその加工品の DON、NIV による汚染をできる限り防止・抑制することが重要である。

農林水産省は、生産の改善を通じて食品の安全性を向上させるため、汚染要因の解明や汚染の防止・抑制技術の開発等を実施し、それらの成果を活用して、平成 20 年 12 月に麦類の生産関係者向けに「麦類の DON・NIV 汚染低減のための指針」（以下「指針」という。）及び「指針活用のための技術情報」（以下「技術情報」という。）を策定・公表した。また、都道府県と協力して、この指針の生産者への普及に努めている。

麦類赤かび病の発生は、生産年ごとに、気象状況等によって大きく影響を受け、それによって麦類中の DON、NIV 等の濃度も影響を受けることが知られているため、麦類中のフザリウム毒素の含有実態調査は継続的に実施する必要がある。農林水産省では、国産の小麦及び大麦の DON、NIV の含有実態調査を、平成 14 年から継続して実施している。また、平成 22 年以降は、含有実態調査に併せ、生産現場における指針に基づく対策の実施状況等についても調査を実施してきた。

今般、「食品の安全性に関する有害化学物質のサーベイランス・モニタリング中期計画」等に基づいて実施した、平成 14 年～平成 27 年の国産の小麦及び大麦中のフザリウム毒素の含有実態調査結果を集計・解析した。

平成 29 年 6 月

農林水産省消費・安全局

目次

第 1 章 国産麦類におけるフザリウム毒素の含有実態とその解析	1
1.1. 国産麦類におけるフザリウム毒素の含有実態	1
1.1.1. 小麦	1
1.1.2. 大麦	5
1.1.3. 小麦及び大麦中の各種フザリウム毒素の含有実態の比較	7
1.2. 麦類中のフザリウム毒素の濃度及び検出率の年次変動	8
1.2.1. 小麦	8
1.2.2. 大麦	12
1.2.3. 麦類中の DON、NIV 及び ZEN の年次変動の要因	16
1.3. 麦類中の DON、NIV のアセチル体の含有実態	21
1.3.1. 小麦	21
1.3.2. 大麦	22
1.3.3. 麦類中の DON、NIV のアセチル体の含有実態と <i>Fusarium</i> の関係	23
1.4. 麦類中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の関係	24
1.4.1. 小麦	25
1.4.2. 大麦	25
1.4.3. 麦類の DON・NIV 汚染と <i>Fusarium</i> の関係	28
第 2 章 麦類の DON、NIV 汚染の防止・抑制対策の実施状況と DON、NIV 濃度の関係	30
2.1. 赤かび病抵抗性による DON、NIV 汚染の防止・抑制	30
2.1.1. 小麦	30
2.1.2. 大麦	31
2.1.3. 赤かび病抵抗性と DON、NIV 濃度の関係	31
2.2. 麦類赤かび病の農薬防除による DON、NIV 産生の防止・抑制	33
2.2.1. 農薬の散布回数	34
2.2.2. 使用された農薬	35
2.2.3. DON、NIV 産生の防止・抑制のための赤かび病防除と麦類中の DON、NIV 濃度	36
2.3. 選別による DON、NIV 濃度の低減	38
2.3.1. 乾燥調製施設における選別方法	38
2.3.2. 主食用麦と細麦・屑麦の DON、NIV 濃度の比較	38
2.3.3. 選別による DON、NIV 低減効果	41
2.4. かび毒検査による DON、NIV の低減効果の確認	42

第3章 麦類由来の遊離型 DON、NIV の推定経口摂取量.....	43
3.1. 経口摂取量の推定に使用したデータ	43
3.1.1. 麦類中の DON、NIV 濃度	43
3.1.2. 日本人の食品摂取量.....	43
3.1.3. 食品摂取量の玄麦相当摂取量への換算.....	44
3.1.4. 食品中の DON、NIV の加工・調理による影響.....	44
3.2. 経口暴露量の推定手順.....	45
3.2.1. 経口摂取量の計算方法	45
3.2.2. 小麦及び大麦の DON、NIV 濃度分布のモデル化	45
3.3. DON、NIV の経口摂取量の推定結果	46
3.3.1. DON の推定経口摂取量	46
3.3.2. NIV の推定経口摂取量	47
3.4. 本推定結果を利用する際の留意点（経口摂取量の推定の“不確実性”分析）	47
3.4.1. 麦類中の DON、NIV 濃度データの“不確実性”	47
3.4.2. 食品摂取量データの“不確実性”	48
3.4.3. 統計解析手法の“不確実性”	48
3.5. DON、NIV の経口摂取による健康リスクに関する考察.....	48
第4章 まとめと今後の対応.....	50
4.1. まとめ.....	50
4.2. 今後の対応	51
別添1 平成14年～平成27年の国産麦類中のフザリウム毒素実態調査結果一覧	
別添2 平成24年～平成27年の国産麦類中のフザリウム毒素含有実態調査の方法	
別添3 麦類加工品から玄麦への換算係数	
別添4 略語及び用語解説	

第1章 国産麦類におけるフザリウム毒素の含有実態とその解析

1.1. 国産麦類におけるフザリウム毒素の含有実態

平成14年～平成27年に実施した国産の小麦及び大麦（いずれも乾燥調製後の穀粒）のフザリウム毒素の含有実態調査の結果一覧を別添1に示した。平成14年～平成23年の実態調査の方法については農林水産省のウェブサイトに掲載の公表資料¹を、平成24年～平成27年の実態調査の方法については別添2を参照。

今般、含有実態の解析は、以下のフザリウム毒素について実施した。

- デオキシニバレノール（略称：DON）
- 3-アセチルデオキシニバレノール（略称：3-Ac-DON）
- 15-アセチルデオキシニバレノール（略称：15-Ac-DON）
- ニバレノール（略称：NIV）
- 4-アセチルニバレノール（略称：4-Ac-NIV、別名：フザレノン X）
- T-2 トキシシン（略称：T2）
- HT-2 トキシシン（略称：HT2）
- ゼアラレノン（略称：ZEN）

含有濃度の平均値は、定量限界（LOQ）未満の濃度を0として算出した下限値（Lower Bound: LB）と、検出限界（LOD）未満の濃度をLOD値とし、LOD以上かつLOQ未満の濃度をLOQ値として算出した上限値（Upper Bound: UB）の2種類を算出し、その範囲で示した。

90パーセンタイル値以上の高パーセンタイル値は、統計学的に95%以上の信頼度で推定が可能な試料点数がある場合に、Microsoft ExcelのPERCENTILE.EXC関数で求めた。（例えば、99パーセンタイル値を95%以上の信頼度で推定するためには、299点以上のデータが必要。）なお、Excel関数を用いて算出したパーセンタイル値は、最大値より必ず小さくなることに留意する必要がある。

1.1.1. 小麦

1.1.1.1. DON

平成14年～平成27年の14年間に採取した1998点の調査試料中のDON濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図1-1に示した。

全試料のDON濃度の平均値（LB-UB）は0.057 - 0.066 mg/kg、最大値は2.1 mg/kgであった。試料の85%は0.10 mg/kg以下の濃度を示した。また、DON濃度が、厚生労働省が平成14年に設定した小麦（食用）の暫定基準値1.1 mg/kgを超えた試料は、平成14年産の6点（全体の0.3%）のみであった。平成15年産以降の試料のDON濃度は、全て暫定基準値より低く、最大値は0.93 mg/kgであった。

¹ かび毒含有実態調査の結果（農林水産省）
http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/tyosa/

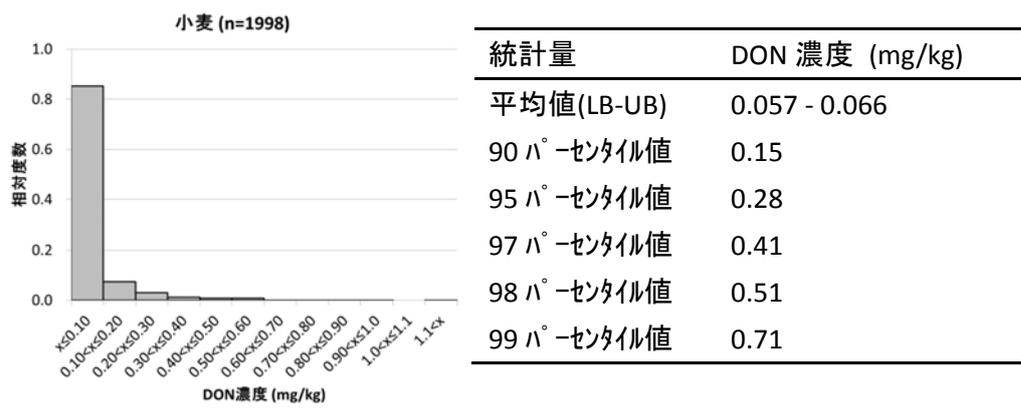


図 1-1 小麦中の DON 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.1.2. NIV

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間に採取した 1998 点の調査試料中の NIV 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-2 に示した。
 全試料の NIV 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.029 - 0.038 mg/kg、最大値は 1.0 mg/kg であった。試料の 92%は 0.10 mg/kg 以下の濃度を示した。

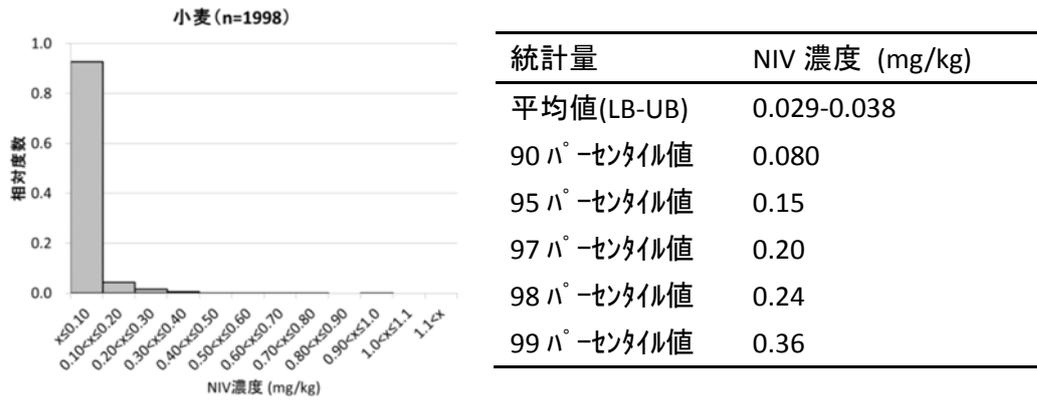


図 1-2 小麦中の NIV 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.1.3. ZEN

平成 17 年～平成 27 年の 11 年間に採取した 1280 点の調査試料中の ZEN 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-3 に示した。
 全試料の ZEN 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.0023 - 0.0031 mg/kg で、最大値は 0.44 mg/kg であった。試料の 96%は 0.010 mg/kg 以下の濃度を示した。母集団の 90 パーセンタイル値や 95 パーセンタイル値は、最も高かった LOQ 値 (0.012 mg/kg) よりも小さいと推定された。

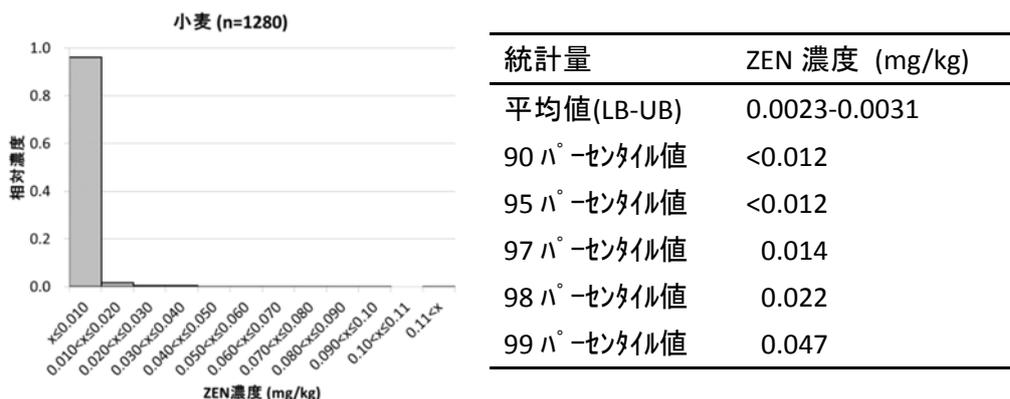


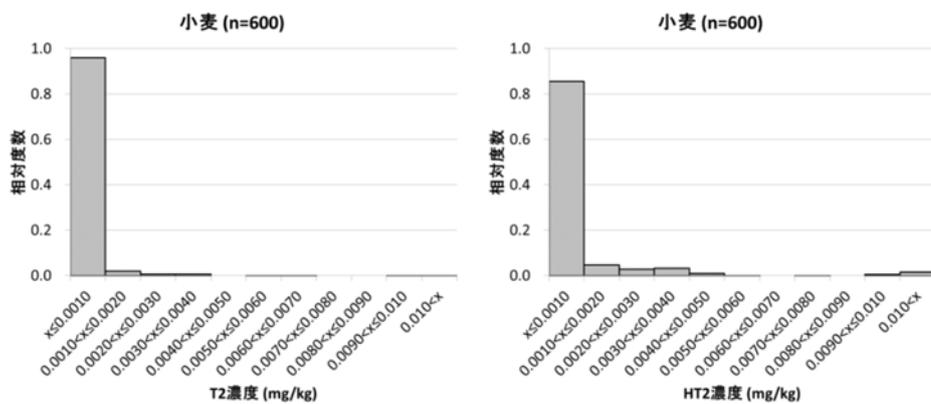
図 1-3 小麦中の ZEN 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.1.4. T2 及び HT2

平成 23～平成 27 年の 5 年間に採取した 600 点の調査試料中の T2、HT2 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-4 に示した。

全試料の T2 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.00015 - 0.00049 mg/kg で、最大値は 0.018 mg/kg であった。試料の 96%は 0.0010 mg/kg 以下の T2 濃度を示した。母集団の T2 濃度の 90 パーセンタイル値や 95 パーセンタイル値は、最も高かった LOQ 値 (0.0010 mg/kg) よりも小さいと推定された。

全試料の HT2 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.00082 - 0.0012 mg/kg で、最大値は 0.069 mg/kg であった。試料の 85%は 0.0010 mg/kg 以下の HT2 濃度を示した。



統計量	T2 濃度 (mg/kg)	HT2 濃度 (mg/kg)
平均値(LB-UB)	0.00015-0.00049	0.00082-0.0012
90 パーセンタイル値	<0.0010	0.0020
95 パーセンタイル値	<0.0010	0.0037
97 パーセンタイル値	0.0015	0.0046
98 パーセンタイル値	0.0021	0.0092
99 パーセンタイル値	0.0037	0.012

図 1-4 小麦中の T2、HT2 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.1.5. 小麦中の各種フザリウム毒素の含有実態の比較

DON、NIV、ZEN、T2 及び HT2 のうち、含有濃度の平均値及び高パーセンタイル値が最も高かったのは DON であった。NIV 濃度の平均値及び各高パーセンタイル値は、DON 濃度の概ね 2 分の 1 程度であった。DON、NIV に比べると、ZEN、HT2 及び T2 の濃度は、数値の桁がより小さく、この順に低かった。

1.1.2. 大麦

1.1.2.1. DON

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間に採取した 1029 点の調査試料中の DON 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-5 に示した。

全試料の DON 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.096 - 0.10 mg/kg、最大値は 4.8 mg/kg であった。試料の 78%は 0.10 mg/kg 以下の濃度を示した。

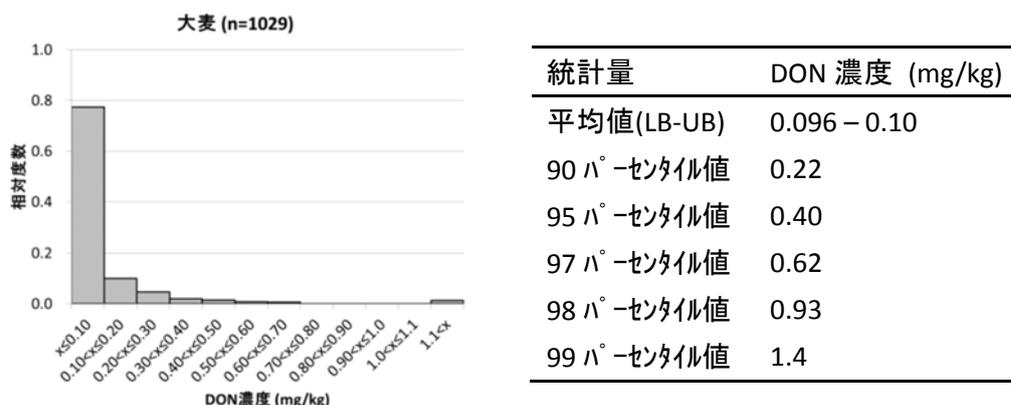


図 1-5 大麦中の DON 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.2.2. NIV

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間に採取した 1029 点の調査試料中の NIV 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-6 に示した。

全試料の NIV 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.073 - 0.077 mg/kg、最大値は 3.0 mg/kg であった。試料の 82%は 0.10 mg/kg 以下の濃度を示した。

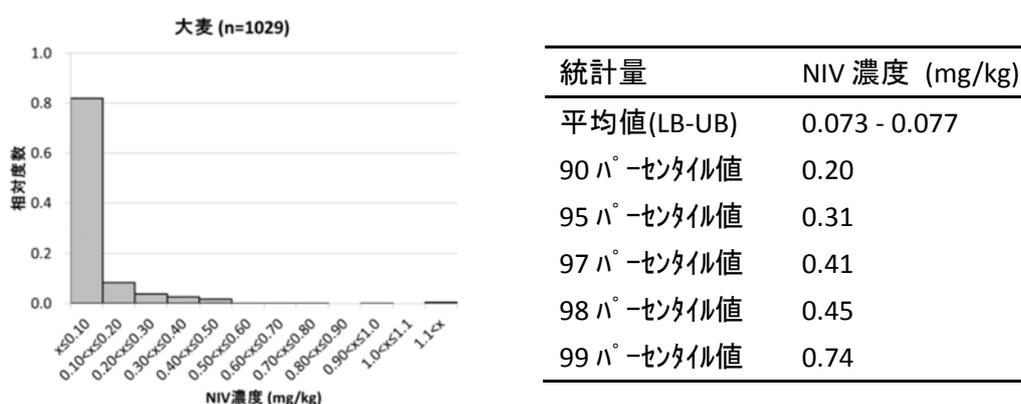
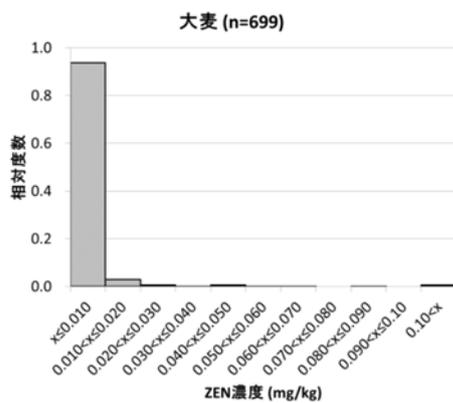


図 1-6 大麦中の NIV 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.2.3. ZEN

平成 21 年～平成 27 年の 7 年間に採取した 699 点の調査試料中の ZEN 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-7 に示した。

全試料の ZEN 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.0037 - 0.0041 mg/kg、最大値は 0.23 mg/kg であった。試料の 93%は 0.010 mg/kg 以下の濃度を示した。



統計量	ZEN 濃度 (mg/kg)
平均値(LB-UB)	0.0037-0.0041
90 th パーセンタイル値	0.0050
95 th パーセンタイル値	0.014
97 th パーセンタイル値	0.024
98 th パーセンタイル値	0.045
99 th パーセンタイル値	0.081

図 1-7 大麦中の ZEN 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

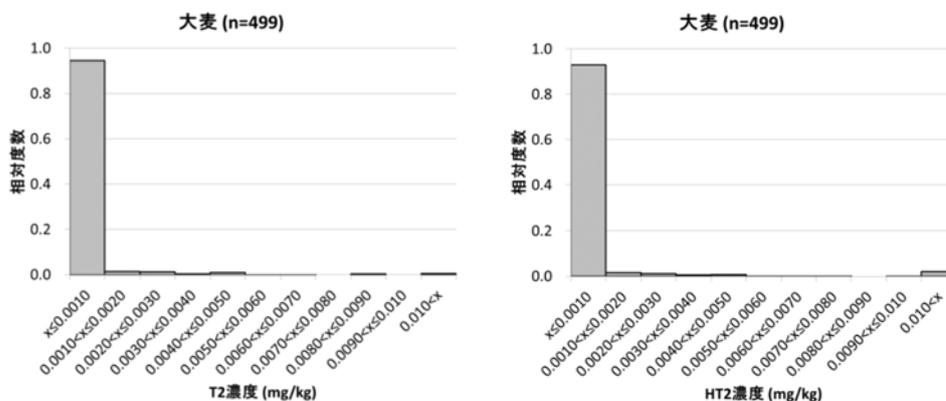
1.1.2.4. T2 及び HT2

平成 23 年～平成 27 年の 5 年間に採取した 499 点の調査試料中の T2、HT2 濃度の相対度数分布、平均値及び高パーセンタイル値を図 1-8 に示した。

全試料の T2 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.00029 - 0.00057 mg/kg、最大値は 0.018 mg/kg であった。試料の 95 %は 0.0010 mg/kg 以下の T2 濃度を示した。

全試料の HT2 濃度の平均値 (LB-UB) は 0.00075 - 0.0011 mg/kg、最大値は 0.11 mg/kg であった。試料の 93%は 0.0010 mg/kg 以下の HT2 濃度を示した。

母集団の T2 濃度及び HT2 濃度の 90 パーセンタイル値は、最も高かった LOQ 値 (0.0010 mg/kg) よりも低いと推定された。



統計量	T2 濃度 (mg/kg)	HT2 濃度 (mg/kg)
平均値(LB-UB)	0.00029-0.00057	0.00075-0.0011
90 th パーセンタイル値	<0.0010	<0.0010
95 th パーセンタイル値	0.0011	0.0023
97 th パーセンタイル値	0.003	0.0047
98 th パーセンタイル値	0.0045	0.015
99 th パーセンタイル値	0.0082	0.017

図 1-8 大麦中の T2、HT2 濃度の相対度数分布、平均値及びパーセンタイル値

1.1.2.5. 大麦中の各種フザリウム毒素の含有実態の比較

DON、NIV、ZEN、T2 及び HT2 のうち、含有濃度の平均値及び高パーセンタイル値が最も高かったのは DON であった。NIV 濃度の平均値は DON 濃度の 8 割程度であり、NIV 濃度の 98 パーセンタイル値や 99 パーセンタイル値は DON 濃度の概ね 2 分の 1 程度であった。DON、NIV に比べると、ZEN、HT2 及び T2 の濃度は、数値の桁がより小さく、この順に低かった。

1.1.3. 小麦及び大麦中の各種フザリウム毒素の含有実態の比較

小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度の平均値及び高パーセンタイル値を比較すると、小麦よりも大麦の濃度が高かった。

ZEN、T2 及び HT2 の含有濃度の平均値及び高パーセンタイル値は、小麦と大麦とでは同程度の水準であった。

1.2. 麦類中のフザリウム毒素の濃度及び検出率の年次変動

小麦及び大麦中の DON、NIV 及び ZEN の濃度及び検出率の生産年（以下「年」は「生産年」を表す。）ごとの変動を解析した。T2 及び HT2 については、いずれの年も LOQ 以上の濃度で検出された割合が極めて低かったため、年次変動に関する解析は行わなかった。

Kruskal-Wallis 検定（H 検定）により、小麦又は大麦中の DON、NIV 又は ZEN の年ごとの濃度に統計学的に有意な差があるかどうかを判定した。この際、各年で使用した分析法の違いが統計解析に及ぼす影響を排除するため、最も高い LOQ 値（DON、NIV では 0.05 mg/kg, ZEN では 0.012 mg/kg）未満の値をすべて 0 に置換したデータを検定に使用した。

1.2.1. 小麦

1.2.1.1. DON

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間の年ごとの DON 濃度の相対度数分布を図 1-9 に示した。

年ごとの DON 濃度には、統計学的に有意な差があった（ $P<0.05$ ）。

平成 14、15、16、18、22、23 年には DON 濃度が 0.05 mg/kg を超えた試料が各年の全試料の約 4 割であったが、平成 19、20、25、26 年では約 1 割であった。

また、DON 濃度が 0.50 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 14、15、16、18、22、23、24 年であった。

1.2.1.2. NIV

平成 14 年～平成 27 年の 14 年間の年ごとの NIV 濃度の相対度数分布を図 1-10 に示した。

年ごとの NIV 濃度には、統計学的に有意な差があった（ $P<0.05$ ）。

平成 14、15、16、18、23、24 年には NIV 濃度が 0.05 mg/kg を超えた試料が各年の全試料の 2 割を超えていたが、その他の年では 1 割未満であった。

また、NIV 濃度が 0.50 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 14、15、16、18、23 年であった。

1.2.1.3. ZEN

平成 17 年～平成 27 年の 11 年間の年ごとの ZEN 濃度の相対度数分布を図 1-11 に示した。

年ごとの ZEN 濃度には、統計学的に有意な差があった（ $P<0.05$ ）。

平成 18 年には ZEN 濃度が 0.010 mg/kg を超えた試料が全試料の 1 割を超えていたが、その他の年では各年の全試料の 1 割未満であった。

また、ZEN 濃度が 0.10 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 18、20、21 年であった。

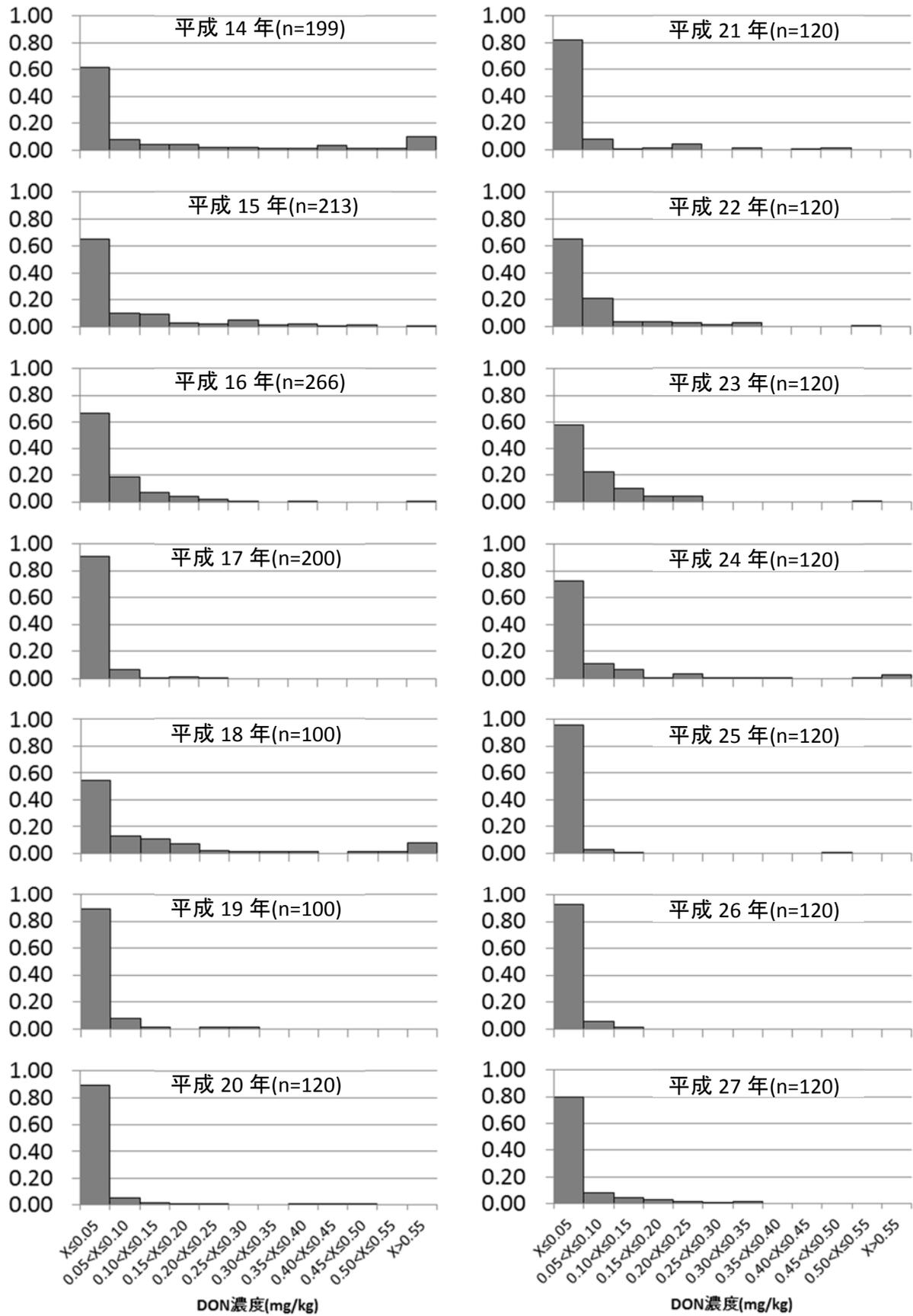


図 1-9 小麦中の DON 濃度の相対度数分布 (平成 14 年～平成 27 年)

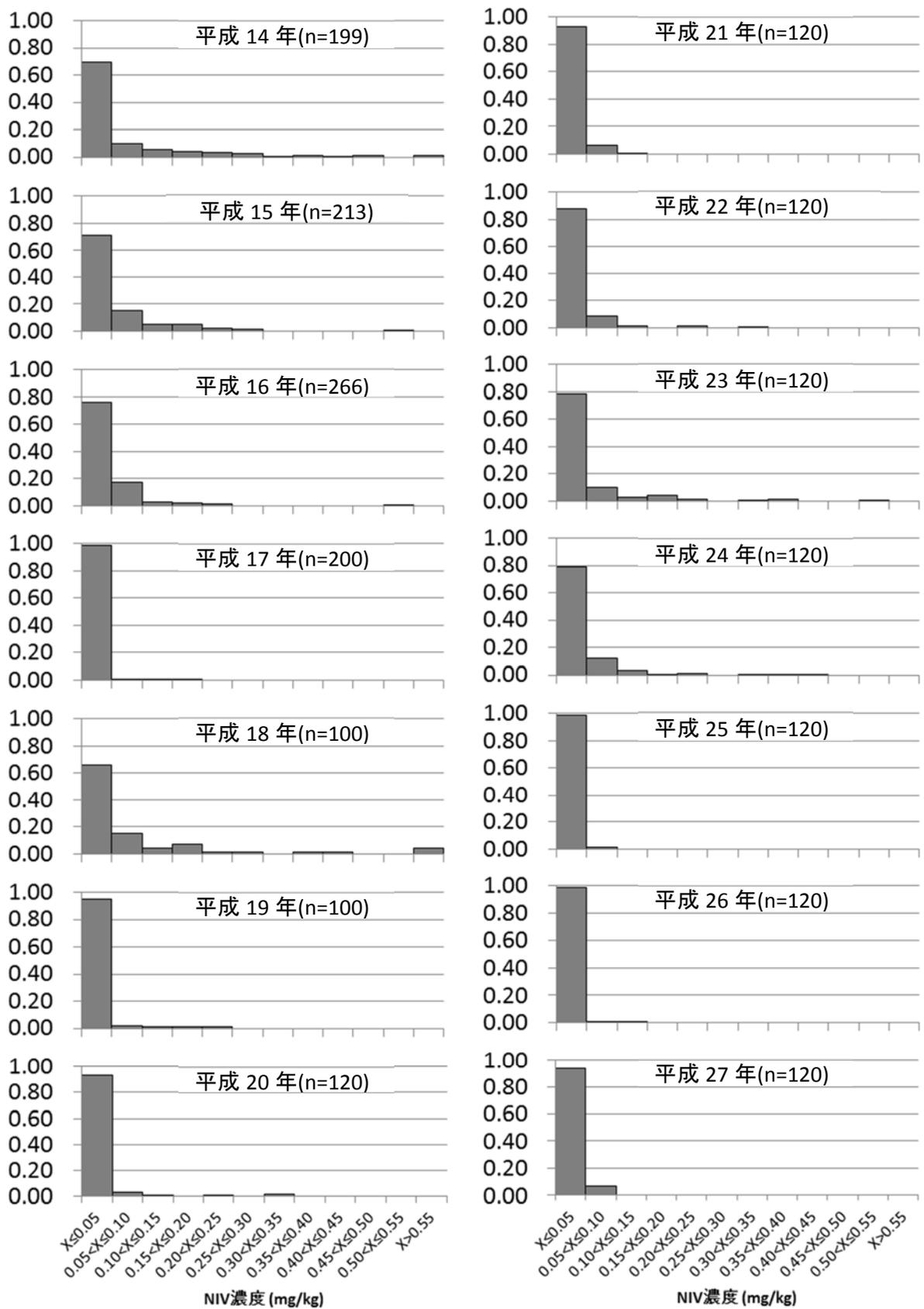


図 1-10 小麦中の NIV 濃度の相対度数分布（平成 14 年～平成 27 年）

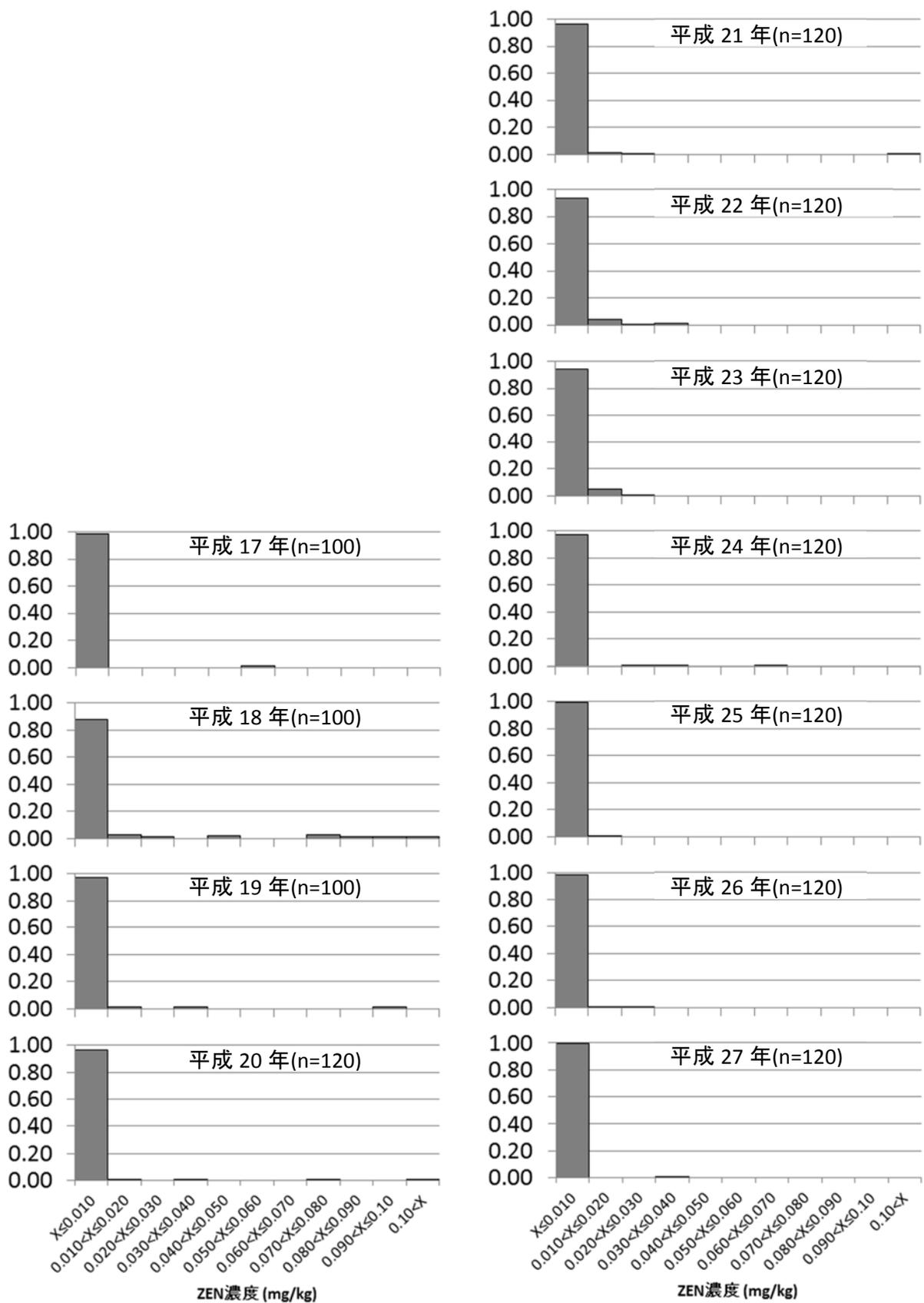


図 1-11 小麦中の ZEN 濃度の相対度数分布（平成 17 年～平成 27 年）
平成 14～16 年は ZEN を分析していない。

1.2.2. 大麦

平成 18 年及び平成 19 年は分析点数がそれぞれ 10 点と少なく、統計解析で信頼性の高い結果を得ることができないだけでなく、この年の調査は全国的なものではなかった。従って、それらのデータとその他の年の全国調査のデータを比較することは適切ではないため、両年の分析結果は年次変動の解析に使用しなかった。

1.2.2.1. DON

平成 14 年～平成 17 年及び平成 20 年～平成 27 年の 12 年分の年ごとの DON 濃度の相対度数分布を図 1-12 に示した。

年ごとの DON 濃度には、統計学的に有意な差があった ($P<0.05$)。

平成 16、22、23、24 年には DON 濃度が 0.05 mg/kg を超えた試料が各年の全試料の約 5 割あったが、平成 20、21、25、26 年では 1 割未満であった。

また、DON 濃度が 0.50 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 14、15、16、20、23、24 年であった。

1.2.2.2. NIV

平成 14 年～平成 17 年及び平成 20 年～平成 27 年の 12 年分の年ごとの NIV 濃度の相対度数分布を図 1-13 に示した。

年ごとの NIV 濃度には、統計学的に有意な差があった ($P<0.05$)。

平成 15、16、24 年には NIV 濃度が 0.05 mg/kg を超えたものが各年の全試料の約 6～7 割あったが、平成 21、25、26、27 年では 1 割未満であった。

また、NIV 濃度が 0.50 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 14、15、16、20、22、24 年であった。

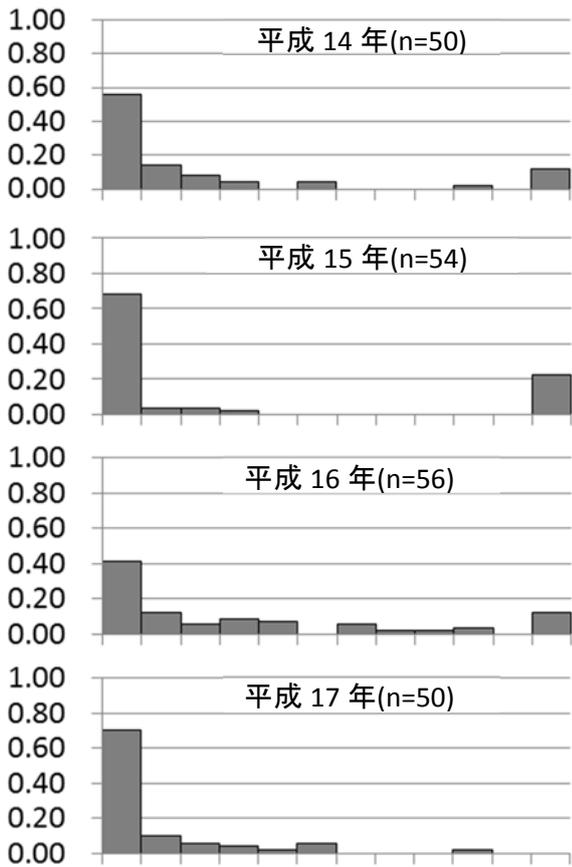
1.2.2.3. ZEN

平成 21 年～平成 27 年の 7 年間の年ごとの ZEN 濃度の相対度数分布を図 1-14 に示した。

年ごとの ZEN 濃度には、統計学的に有意に差があった ($P<0.05$)。

平成 23 年には ZEN 濃度が 0.010 mg/kg を超えた試料が全試料の 2 割を超えていたが、その他の年では各年の全試料の 1 割未満であった。

また、ZEN 濃度が 0.10 mg/kg を超えた試料があったのは、平成 23、24、26 年であった。



平成 18 年、平成 19 年は解析に使用せず

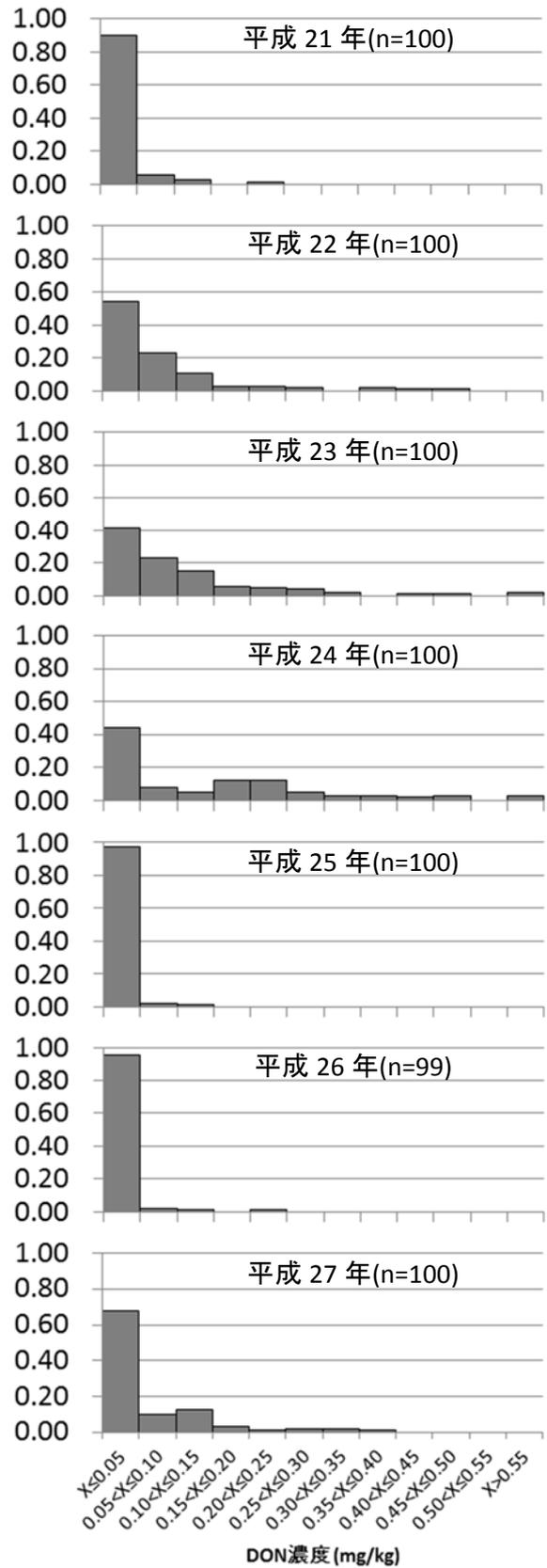
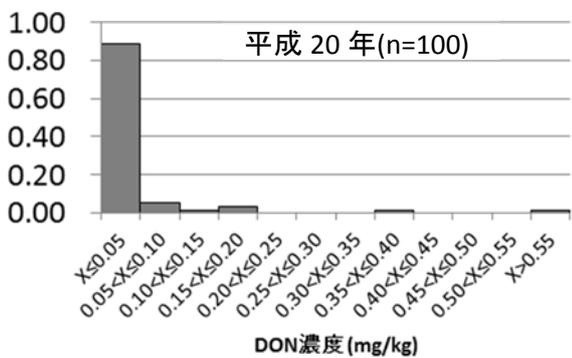
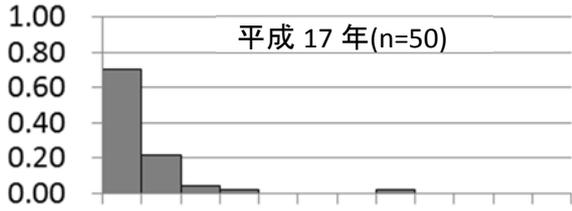
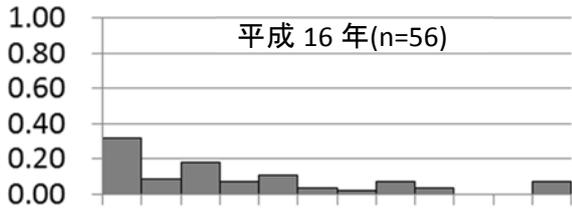
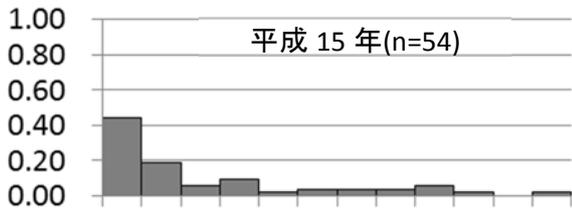
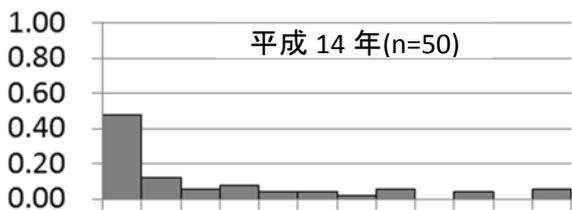


図 1-12 大麦中の DON 濃度の相対度数分布 (平成 14 年～平成 17 年、平成 20 年～平成 27 年)



平成 18 年、平成 19 年は解析に使用せず

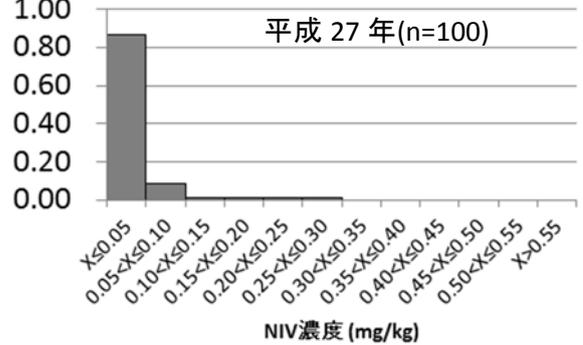
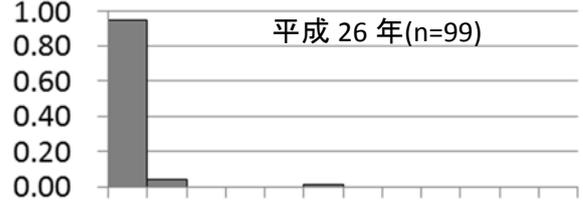
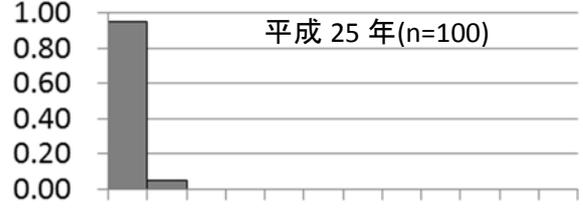
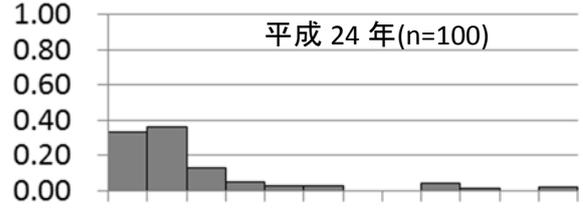
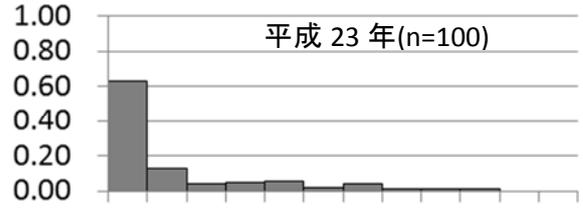
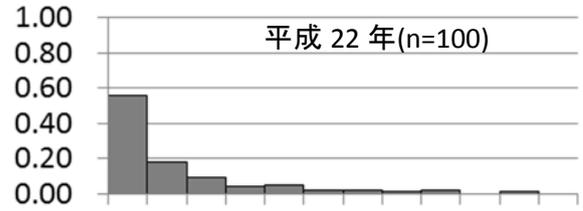
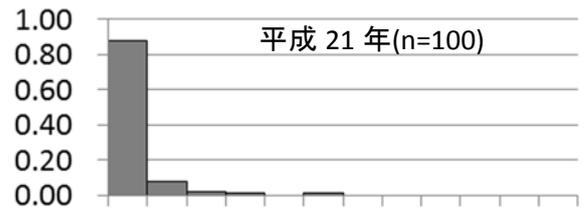
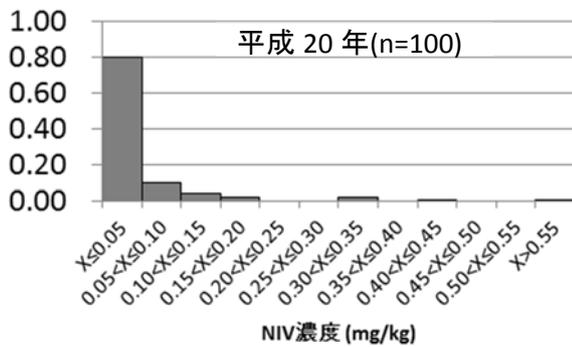


図 1-13 大麦中の NIV 濃度の相対度数分布 (平成 14 年～平成 17 年、平成 20 年～平成 27 年)

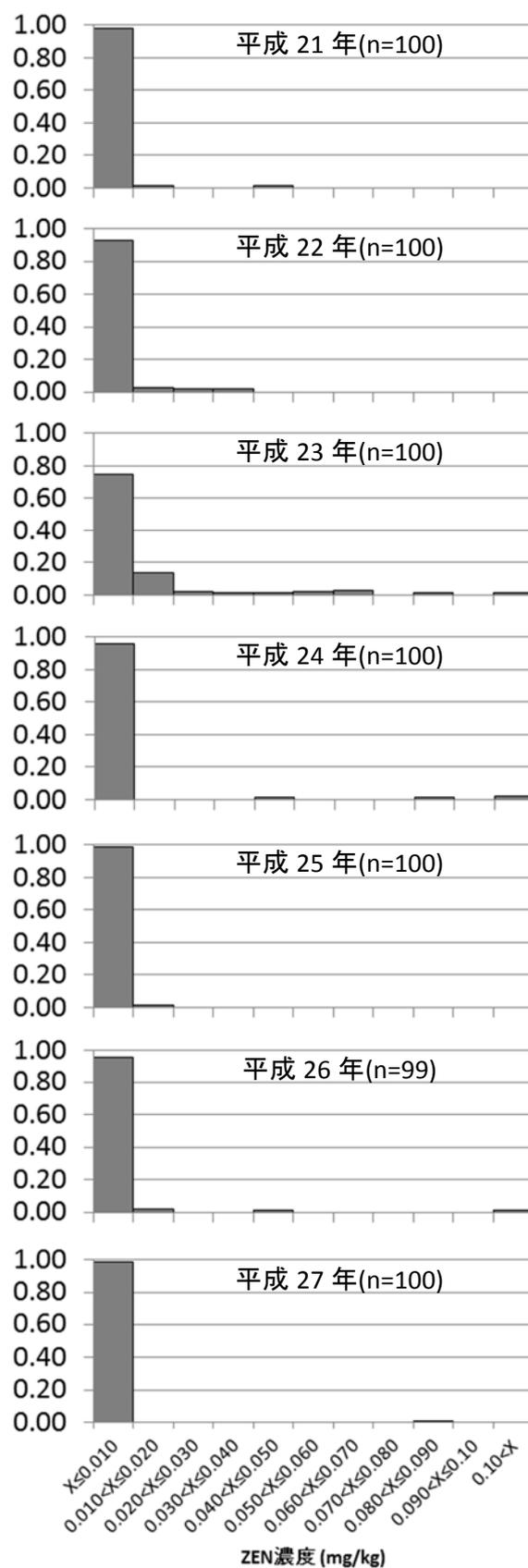


図 1-14 大麦中の ZEN 濃度の相対度数分布（平成 21 年～平成 27 年）

平成 14 年～平成 20 年は ZEN を分析していない。

1.2.3. 麦類中の DON、NIV 及び ZEN の年次変動の要因

平成 14 年～平成 27 年の年ごとの調査結果の比較によって、小麦及び大麦中の DON、NIV 及び ZEN 濃度には、年により統計学的に有意な差があることが判明した。特に、DON 及び NIV 濃度の分布は、年によって著しく異なっていたので、それらの要因を解析した。

DON、NIV を産生する *Fusarium* が関与している麦類赤かび病の国内における発生状況も、気象状況等の影響により年によって異なることが知られている。国内における小麦及び大麦の作付面積に対する赤かび病の発生面積の割合²は、平成 14 年以降では平成 19、20、25 年が比較的少なく 9%であったのに対して、平成 14、15、18、23、24 年が比較的多く約 30%であった。

小麦と大麦それぞれについて、各年の試料数に対する DON、NIV 濃度が 0.05 mg/kg（調査全期間を通じて最も高い LOQ 値）以上であった試料数の割合（以下 1.2.3.において「検出率」という。）又は平均濃度を、当該年の赤かび病の発生割合と比較した。

1.2.3.1. 小麦

赤かび病の発生割合と DON、NIV の検出率、赤かび病の発生割合と DON、NIV の平均濃度の年次推移をそれぞれ比較したところ、いずれも似た傾向を示した（図 1-15）。

各年の DON、NIV の検出率又は平均濃度と当該年の赤かび病の発生割合との関係をそれぞれ見たところ、いずれの場合も両者には強い正の相関（ $r^2=0.65\sim 0.86$ 、いずれも相関係数の検定において $\alpha=0.01$ で有意）があった（図 1-16）。

1.2.3.2. 大麦

赤かび病の発生割合と DON、NIV の検出率、赤かび病の発生割合と DON、NIV の平均濃度の年次推移をそれぞれ比較したところ、いずれも似た傾向を示した（図 1-17）。

各年の DON、NIV の検出率又は平均濃度と当該年の赤かび病の発生割合との関係をそれぞれ見たところ、いずれの場合も両者には強い正の相関（ $r^2=0.64\sim 0.70$ 、いずれも相関係数の検定は $\alpha=0.01$ で有意）があった（図 1-18）。

1.2.3.3. まとめ

小麦及び大麦中の DON、NIV 及び ZEN 濃度には、年によって有意な差があり、特に DON 及び NIV の濃度分布は、著しく異なっていた。また、各年の小麦、大麦のいずれにおいても、DON、NIV 検出率及び平均濃度と当該年の赤かび病の発生割合とには、それぞれ強い正の相関があることも判明した。

これまで、麦類赤かび病の発生が年によって異なること、また、試験ほ場等で採取した小麦や大麦中の DON 濃度が年によって異なることは、都道府県の病虫害防除所や

² 4 麦（小麦、二条大麦、六条大麦及びはだか麦）の作付面積（ha）に対する、4 麦の麦類赤かび病の発生面積（ha）（農林水産統計等に基づく消費・安全局農産安全管理課の試算による）。赤かび病の発生面積には、病害の程度が少ないものも含む。

農業試験場によって報告されてきたが、今回の解析によって、実際に、小麦及び大麦における赤かび病発生と DON、NIV 汚染の間に強い相関性が確認された。

小麦及び大麦では、収穫後の乾燥、調製時に、病害や虫害を受けた被害粒や未熟粒が品質や等級の向上のために除去される。また、農産物検査法（昭和 26 年法律第 144 号）に基づく農産物規格規程によれば、外見上「赤かび粒」と判定される穀粒の混入率が 0.049%以下となるよう管理することになっている³。もし被害粒や未熟粒、赤かび粒のみが DON、NIV に汚染されているのであれば、調製後の実際に流通する小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度は、年によって大きく変動しないはずである。

しかし、今回の調製後穀粒を対象としたフザリウム毒素の含有実態調査結果から、実際に流通する小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度も、赤かび病の発生に応じて年によって変動することが確認された。これは、調製時に選別・除去の対象となる赤かび粒、被害粒、未熟粒等と判断されない、外見上は健全な穀粒にも *Fusarium* の感染が認められ、感染率が高い穀粒では DON 濃度が高いとの報告⁴と整合する。つまり、麦類赤かび病が広い面積で発生した年には、外見上は健全な穀粒にも *Fusarium* が感染しており、その結果として穀粒中の DON、NIV の濃度が高くなった可能性があり、これが、赤かび病の発生状況によって、調製後の小麦及び大麦中の DON、NIV 検出率及び平均濃度に年次変動が生じた要因と考えられる。

平成 14 年～平成 27 年の調査試料を、赤かび病の発生面積が小さかった生産年（ここでは赤かび病発生割合が 20%未満の生産年とした。）と、赤かび病の発生面積が大きかった生産年（ここでは赤かび病発生割合が 20%以上の生産年とした。）とに分けて、小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度の相対度数分布を図 1-19 に示した。この図から、赤かび病発生面積が大きかった年には、発生面積が小さかった年と比較して、より高濃度の DON 又は NIV を含む試料（調製後穀粒）の割合が多かったことがわかる。

これらのことは、赤かび病の発生予防のための対策の実施が、小麦及び大麦中の DON 及び NIV 濃度の抑制に重要であることを示している。

³ 農産物規格規程（平成 13 年農林水産省告示第 244 号）では、「赤かび粒」を「赤かび病菌等に侵されて赤色を帯びた粒をいう。」と定義しており、赤かび粒の混入率が 0.0%を超えた場合（0.05%以上の場合は規格外となる）。

⁴ Souma, J. (2015). Recent progress in research and control of *Fusarium* head blight in wheat in Hokkaido. マイコトキシン, 65(1), 31-38.

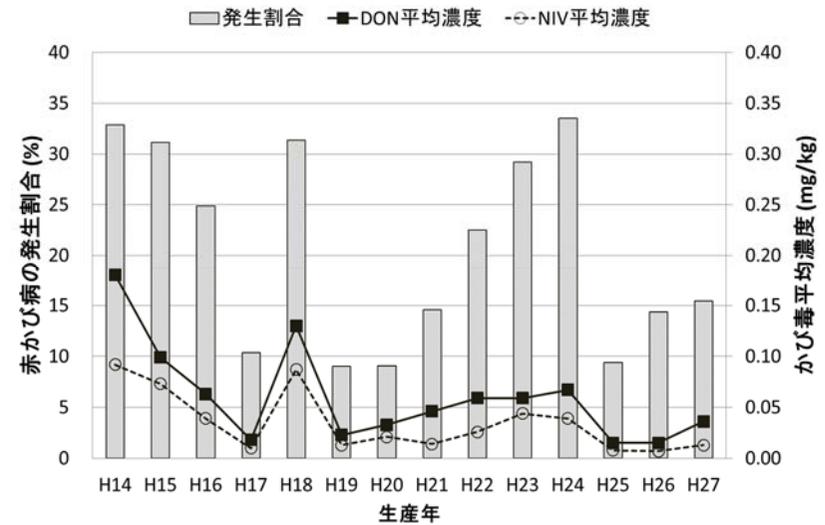
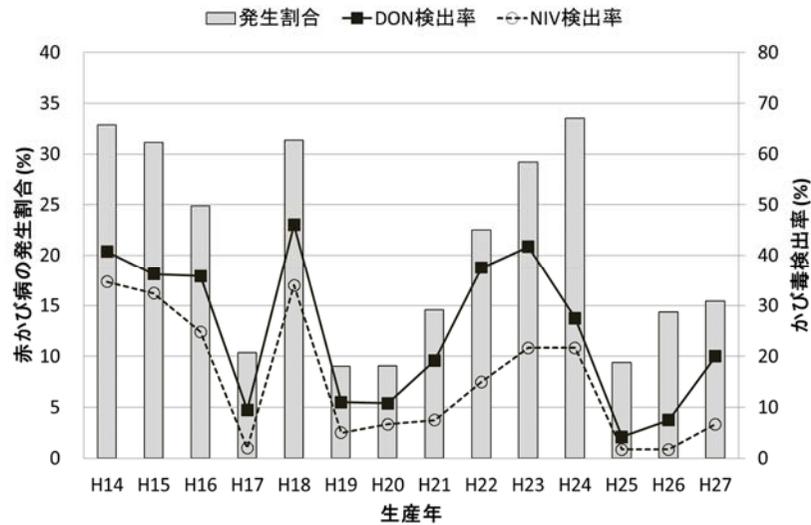


図 1-15 赤かび病の発生割合と小麦中の DON、NIV の検出率（左側）及び平均濃度（右側）の年次推移

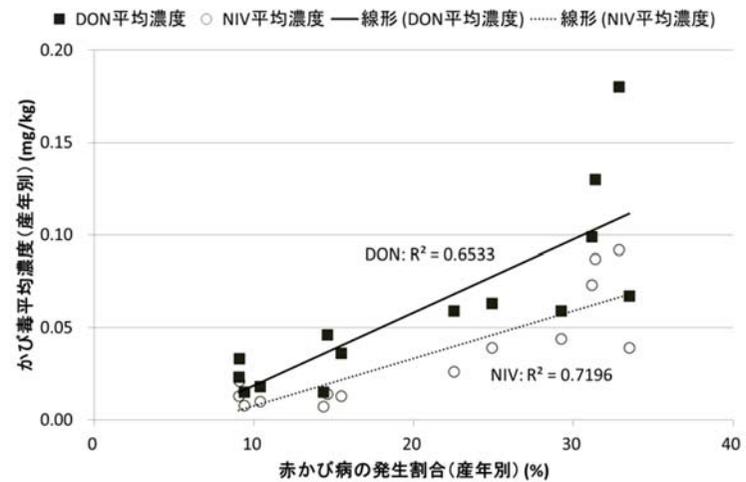
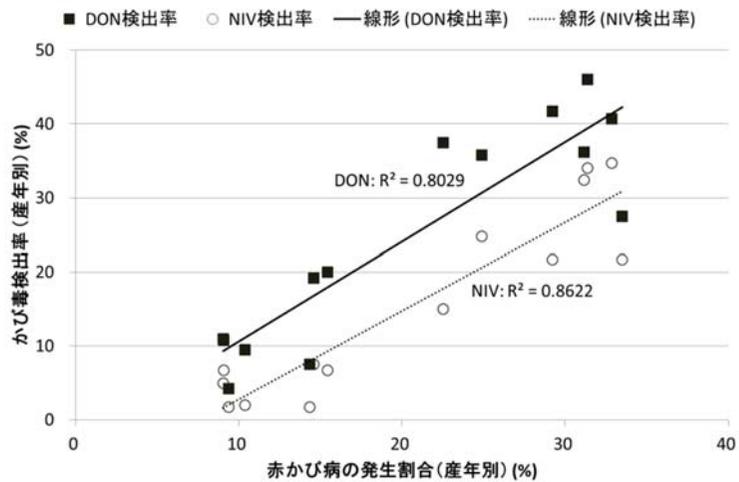


図 1-16 赤かび病の発生割合と小麦中の DON、NIV の検出率（左側）及び平均濃度（右側）の相関

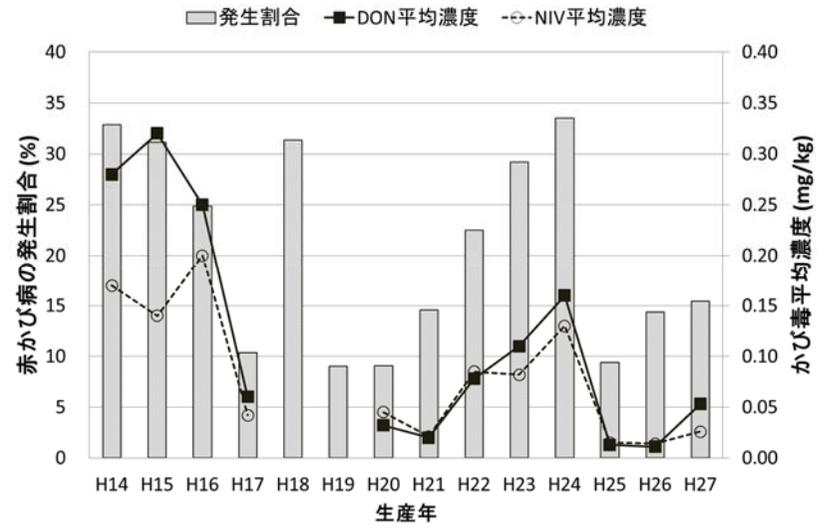
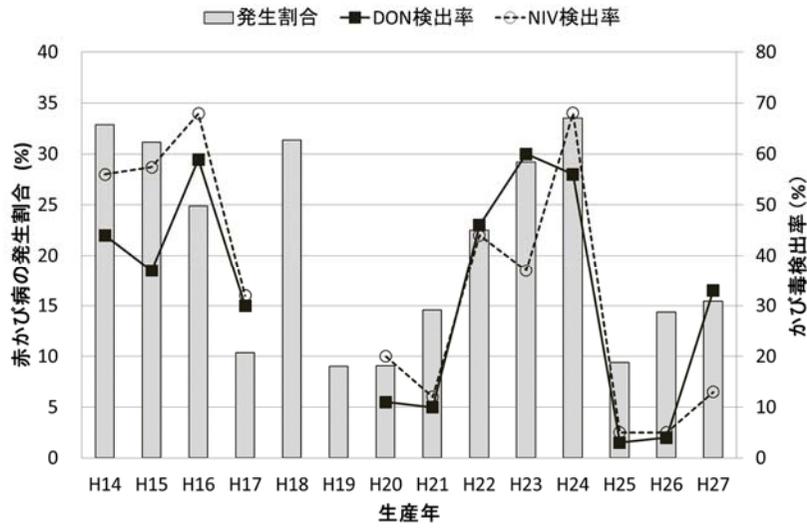


図 1-17 赤かび病の発生割合と大麦中の DON、NIV の検出率（左側）及び平均濃度（右側）の推移

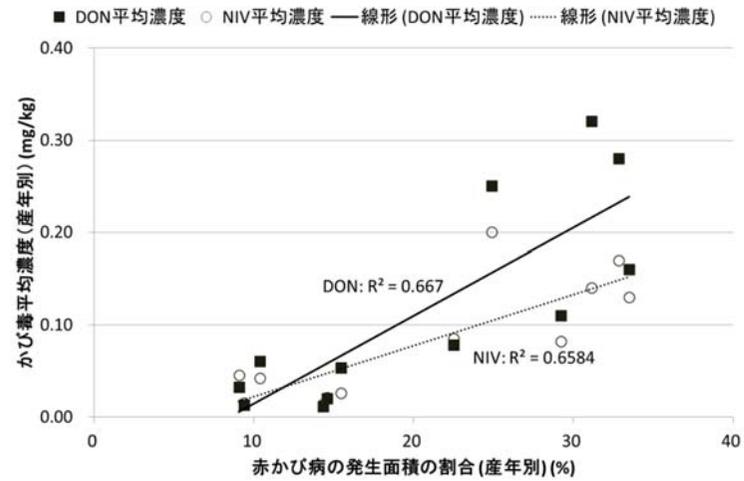
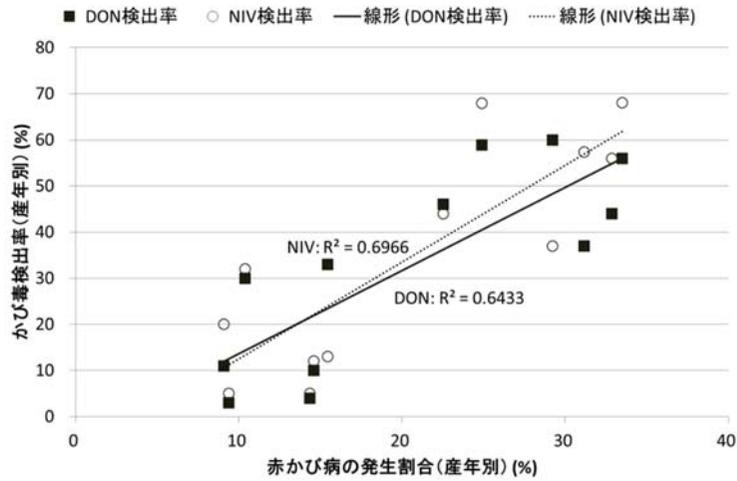
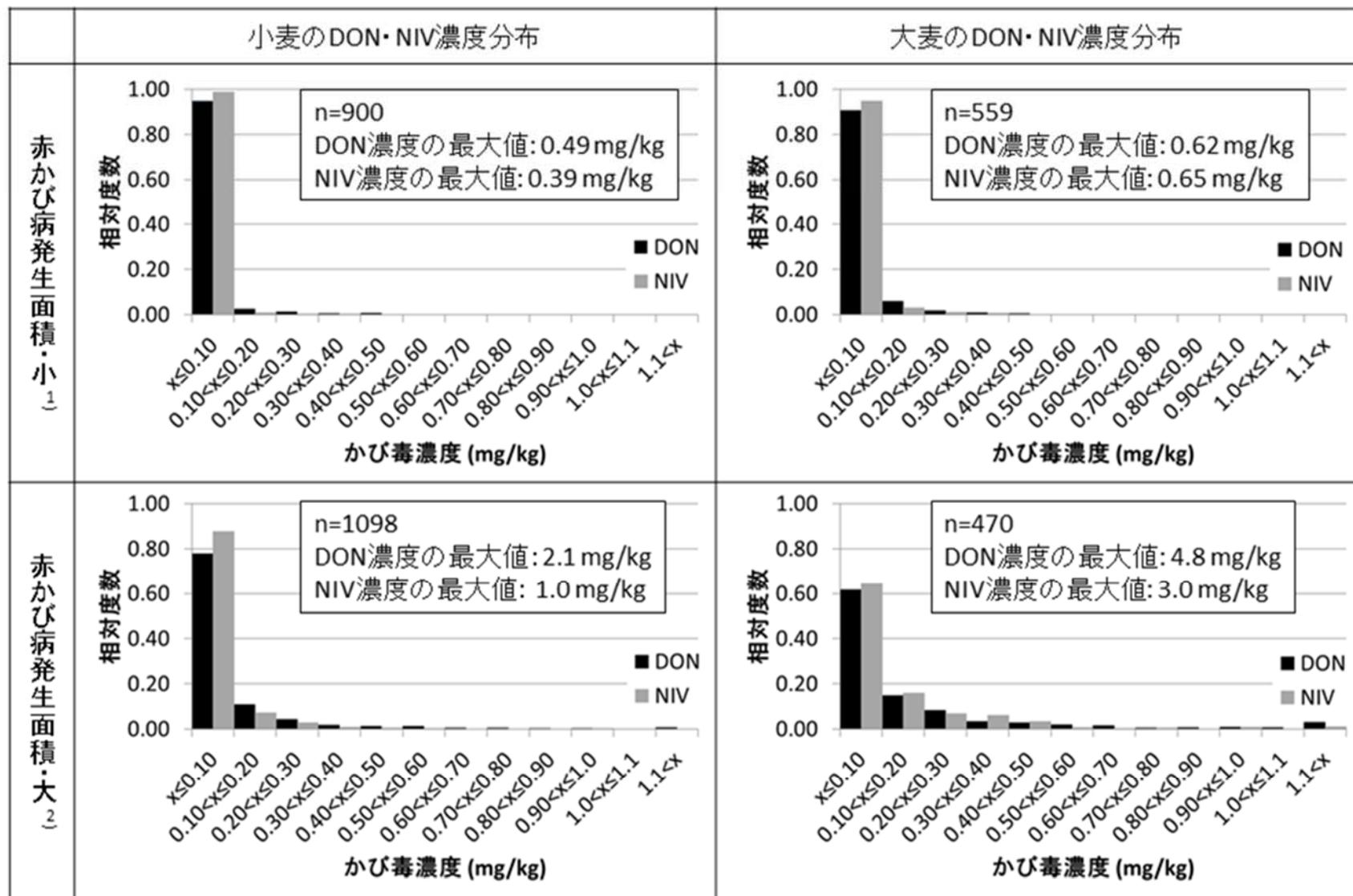


図 1-18 赤かび病の発生割合と大麦中の DON、NIV の検出率（左側）及び平均濃度（右側）の相関



1) 赤かび病発生面積が小さかった年: 平成17, 19, 20, 21, 25, 26, 27年 (国内の麦類作付面積に対する赤かび病発生面積の割合が20%未満)
 2) 赤かび病発生面積が大きかった年: 平成14, 15, 16, 18, 22, 23, 24年 (国内の麦類作付面積に対する赤かび病発生面積の割合が20%以上)

図 1-19 赤かび病発生割合(面積)の大小別的小麦及び大麦中のDON、NIV濃度の相対度数分布

1.3. 麦類中の DON、NIV のアセチル体の含有実態

Fusarium は DON、NIV の前駆体としてそれらのアセチル体を生合成するため、麦類から、遊離型の DON（以下 1.3.において単に「DON」という。）、遊離型の NIV（以下 1.3.において単に「NIV」という。）と共に 3-Ac-DON、15-Ac-DON、4-Ac-NIV が検出されることがある。

3-Ac-DON や 15-Ac-DON は、DON よりも毒性が低いが、動物の体内で加水分解により遊離型として DON が生成するため、JECFA (2010) は、DON だけでなく 3-Ac-DON 及び 15-Ac-DON についても食品中の含有実態把握を行うよう勧告した。4-Ac-NIV も同様に、加水分解により遊離型として NIV が生成する。

DON、NIV、3-Ac-DON、15-Ac-DON、4-Ac-NIV の分析を行った平成 20 年～平成 27 年の 8 年間に採取した小麦 991 点、大麦 806 点について、各試料中の DON、NIV 濃度とそれらのアセチル体濃度を比較した。なお、この解析データには平成 26 年及び平成 27 年に実施した追加調査（別添 1 参照）の試料を含む。

1.3.1. 小麦

3-Ac-DON を LOQ (0.0015～0.016 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 153 点（全体の 15%）であった。また、15-Ac-DON を LOQ (0.0010～0.008 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 23 点（全体の 2.3%）と 3-Ac-DON と比較して少なく、そのうちの 22 点は 3-Ac-DON も LOQ 以上の濃度で含んでいた。

4-Ac-NIV を LOQ (0.0016-0.012 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 12 点（全体の 1.2%）であった。

DON 濃度又は 3-Ac-DON 濃度が LOQ 未満であった試料を含む、全 991 点（この点数は、統計学的に信頼度の高い結果を得られる。）のデータを使用し、小麦中の DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度との関係について解析した。各試料中の DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度との相関を図 1-20 に示した。なお、LOQ 未満の濃度は 0 とした。

DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度との間には、強い正の相関 ($r^2=0.68$) があつた。

ほとんどの試料中の 3-Ac-DON 濃度は DON 濃度と比較して 25 分の 1 未満であり、高い場合でも 10 分の 1 程度であった。3-Ac-DON 濃度が DON 濃度よりも高かった試料は 6 点（全体の 0.6%）あつたが、その場合の 3-Ac-DON 濃度は最大で 0.018 mg/kg であつた。

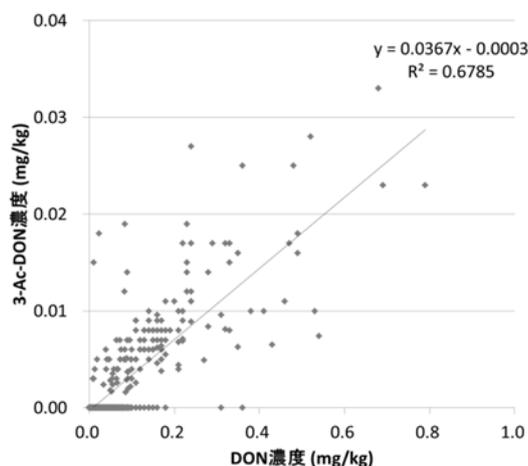


図 1-20 小麦中の DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度の相関 (n=991)

1.3.2. 大麦

3-Ac-DON を LOQ (0.0020-0.010 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 296 点 (全体の 37%) であった。また、15-Ac-DON を LOQ (0.0010-0.007 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 51 点 (全体の 6.3%) と 3-Ac-DON と比較して少なかった。このうちの 49 点は 3-Ac-DON も LOQ 以上の濃度で含んでいた。

4-Ac-NIV を LOQ (0.0015-0.009 mg/kg) 以上の濃度で含む試料は 170 点 (全体の 21%) であった。

DON、NIV 又はそれらのアセチル体濃度が LOQ 未満であった試料を含む、全 806 点 (この点数は、統計学的に信頼度の高い結果を得られる。) のデータを使用し、DON、NIV 濃度とそれらのアセチル体濃度との関係について解析した。各試料中の DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度又は 15-Ac-DON 濃度、NIV 濃度と 4-Ac-NIV 濃度との相関を図 1-21 及び図 1-22 に示した。なお、LOQ 未満の濃度は 0 とした。

DON 濃度と 3-Ac-DON 濃度との間には、強い正の相関 ($r^2=0.79$) があった。

ほとんどの試料中の 3-Ac-DON 濃度は、DON 濃度と比較して概ね 10 分の 1 から 5 分の 1 であった。DON 濃度と 15-Ac-DON 濃度には、弱い正の相関 ($r^2=0.35$) があった。ほとんどの試料中の 15-Ac-DON 濃度は DON 濃度と比較して 20 分の 1 未満と、3-Ac-DON 濃度と比較して低かった。

3-Ac-DON 濃度と 15-Ac-DON 濃度の合計値が DON 濃度よりも高かった試料が 9 点 (全体の 1.1%) あったが、その場合の 3-Ac-DON 濃度と 15-Ac-DON 濃度の合計値は最大で 0.14 mg/kg であった。

NIV 濃度と 4-Ac-NIV 濃度とには、中程度の正の相関 ($r^2=0.52$) があった。

ほとんどの試料中の 4-Ac-NIV 濃度は、NIV 濃度と比較して 5 分の 1 未満であった。

4-Ac-NIV 濃度が NIV 濃度よりも高かった試料はなかった。

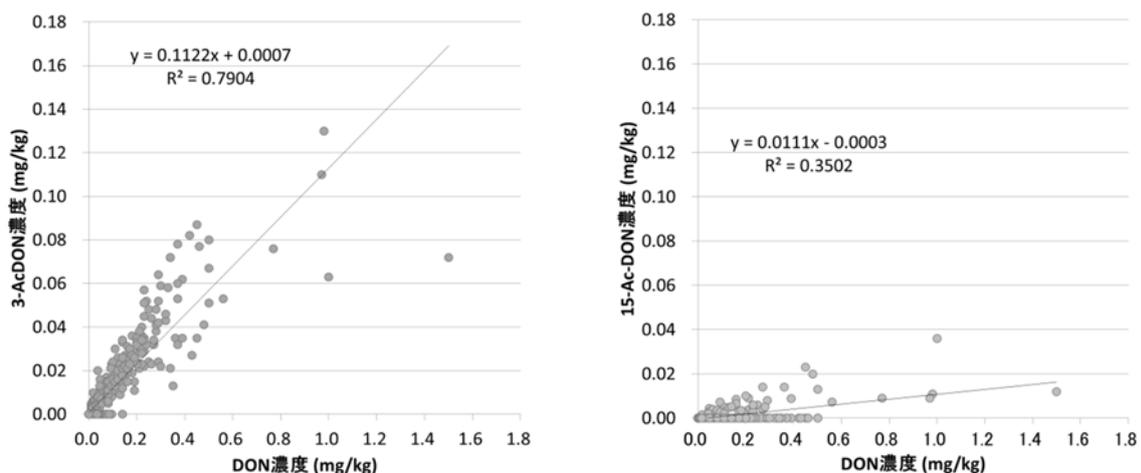


図 1-21 大麦中の DON 濃度と 3-AcDON 濃度 (左側) 又は 15-Ac-DON (右側) の相関 (n=806)

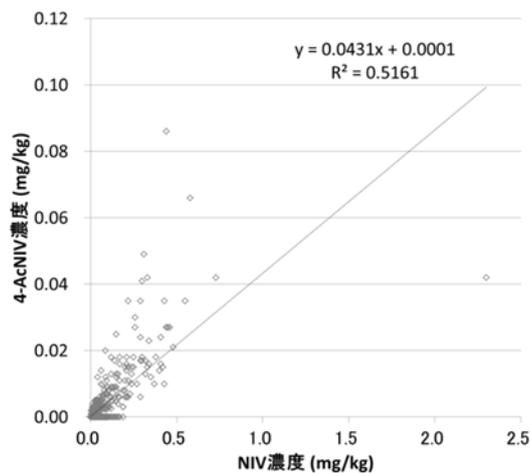


図 1-22 大麦中の NIV 濃度と 4-Ac-NIV 濃度の相関 (n=806)

1.3.3. 麦類中の DON、NIV のアセチル体の含有実態と *Fusarium* の関係

DON を産生する *Fusarium* には、菌種や菌株によって、前駆体として、主に 3-Ac-DON を産生する型と、主に 15-Ac-DON を産生する型とがある。本調査では、小麦、大麦のいずれにおいても、15-Ac-DON よりも 3-Ac-DON が検出された試料の割合が多く、また、遊離型 DON に対する濃度比も、15-Ac-DON より 3-Ac-DON が高かった。このことは、国産小麦に感染していた *Fusarium* の多くが 3-Ac-DON 産生型であり、15-Ac-DON 産生型は少なかったとの報告⁵と合致する。

DON、NIV のアセチル体が LOQ 以上の濃度で検出された割合及び DON、NIV の遊離型に対するそれぞれのアセチル体の濃度比は、小麦よりも大麦の方が高い傾向にあった。

Fusarium は、まず、より毒性の低い 3-Ac-DON、15-Ac-DON 又は 4-Ac-NIV を生合成し、それらを自らの細胞内に蓄積し、植物への感染過程で加水分解後、遊離型の DON、NIV を細胞外に排出することが知られている⁶。乾燥・調製した小麦及び大麦中の 3-Ac-DON 又は 15-Ac-DON に対する遊離型の DON 又は 4-Ac-NIV に対する遊離型の NIV の濃度比は、最も高い場合でも 5 分の 1 程度であった。収穫期の小麦及び大麦中の DON、NIV は、主として遊離型として存在し、アセチル体は少ないことが確認された。

⁵ 須賀晴久. (2006). ムギ類赤かび病菌における近年の研究動向. 日本植物病理学会報, 72(3), 121-134.

⁶ Nishiuchi, T., Kimura, M., & Sato, K. (2015). The mode of phytotoxic action of trichothecenes during plant-*Fusarium* interaction; our approach to detoxification of trichothecenes in cereals. *JSM Mycotoxins*, 65(2), 143-147.

1.4. 麦類中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の関係

小麦及び大麦に含まれるフザリウム毒素の中では、遊離型 DON（以下 1.4.において単に「DON」という。）の検出率や含有濃度が最も高い。そのため、欧米では DON のみを指標としてリスク管理措置を行うことが多い。我が国でも、自主検査や試験研究の多くが DON を対象として実施されてきた。

しかし、1.1.に示したとおり、我が国では、小麦及び大麦から DON に加えて遊離型 NIV（以下 1.4.において単に「NIV」という。）もその他のフザリウム毒素と比較して高頻度、高濃度で検出される。NIV には DON と同程度の毒性があることから、我が国では NIV の実態も併せて把握することが重要である。

Fusarium には、菌種や菌株によって、主として、DON を産生する型、NIV を産生する型、DON と NIV の両方を産生する型があり、感染している *Fusarium* の菌種や菌株の違いによって、穀粒に含まれる DON と NIV の濃度比が異なることが知られている⁷。*Fusarium* の菌種や菌株は、麦類が生産される場所によって異なるため、調査試料を表 1-1 の 8 つの生産地域（以下「地域」という場合には、基本的にこの区分に基づく地域を指す。）に分けて解析した。

なお、DON、3-Ac-DON 及び 15-Ac-DON の合計を「総 DON」、NIV 及び 4-Ac-NIV の合計を「総 NIV」とし、小麦及び大麦中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の関係及び濃度比を解析した。解析には、DON、3-Ac-DON、15-Ac-DON、NIV 及び 4-Ac-NIV の分析を行った平成 20 年～平成 27 年の 8 年間に採取した小麦 960 点、大麦 799 点の調査試料のデータを使用した。

ただし、地域別の試料点数が 30 点未満であった、北陸及び中国四国の小麦並びに東北、東海及び近畿の大麦については、統計学的な信頼性が低いため、地域別に分けた解析はしなかった。

表 1-1 生産地域の区分と含まれる都道府県

地域区分	都道府県名
北海道	北海道
東北	青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県
関東	茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県、長野県、静岡県
東海	岐阜県、愛知県、三重県
北陸	新潟県、富山県、石川県、福井県
近畿	大阪府、京都府、兵庫県、滋賀県、奈良県、和歌山県
中国四国	鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県
九州	福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県

⁷ 芳澤宅實, & 金銀哲. (1998). 国産ムギ類のトリコテセン汚染実態とその特徴. マイコトキシン, 1998(47), 15-18.

1.4.1. 小麦

全国及び地域別の、試料中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度との関係を図 1-23 及び図 1-24 に示した。

日本全体では、総 DON 濃度と総 NIV 濃度とには弱い正の相関 ($r^2=0.40$) があった。北海道では、総 DON が比較的高濃度の試料でも、総 NIV はほとんど検出されないか、極めて低濃度で検出された。

関東、東海、近畿及び九州では、総 DON 濃度と総 NIV 濃度とには極めて強い正の相関 ($r^2=0.76\sim 0.95$) があった。関東では試料中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度とが同程度で、近畿では総 NIV 濃度が総 DON 濃度よりやや高い傾向にあり、東海及び九州では総 DON 濃度が総 NIV 濃度より高い傾向にあった。

東北では、総 DON 濃度と総 NIV 濃度との相関は弱かった ($r^2=0.31$)。

1.4.2. 大麦

全国及び地域別の、試料中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度との関係を図 1-23 及び図 1-25 に示した。

日本全体では、総 DON 濃度と総 NIV 濃度とには弱い正の相関 ($r^2=0.39$) があった。北海道では、総 DON が比較的高濃度の試料でも、総 NIV はほとんど検出されないか、極めて低濃度で検出された。

関東、中国四国及び九州では、総 DON 濃度と総 NIV 濃度とには極めて強い正の相関 ($r^2=0.63\sim 0.87$) があった。関東では試料中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度とが同程度で、中国四国では総 NIV 濃度が総 DON 濃度の 2 倍程度と高く、九州では総 DON 濃度が総 NIV 濃度より高い傾向にあった。

北陸では、総 DON 濃度と総 NIV 濃度との相関は弱かった ($r^2=0.15$)。

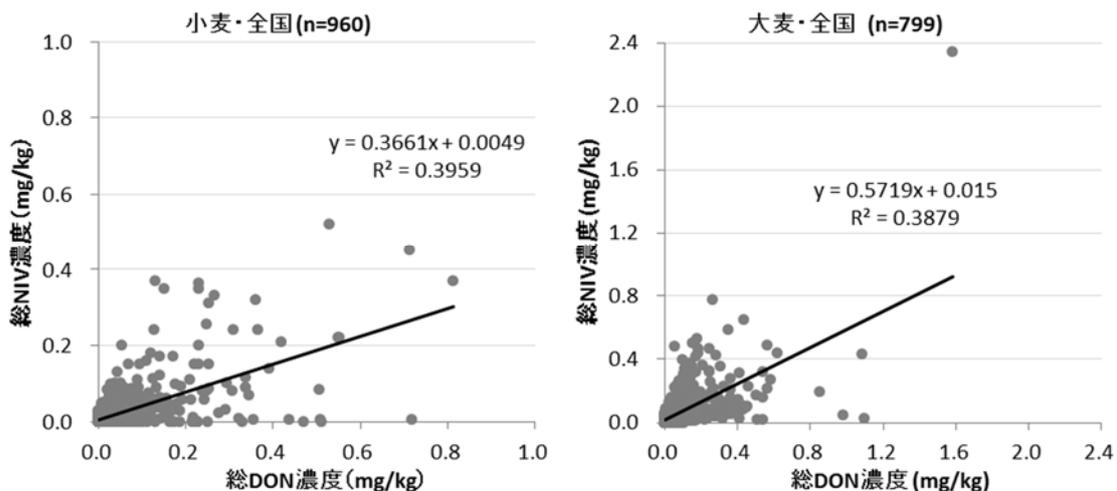


図 1-23 小麦（左側）及び大麦（右側）の試料中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の相関（全国）

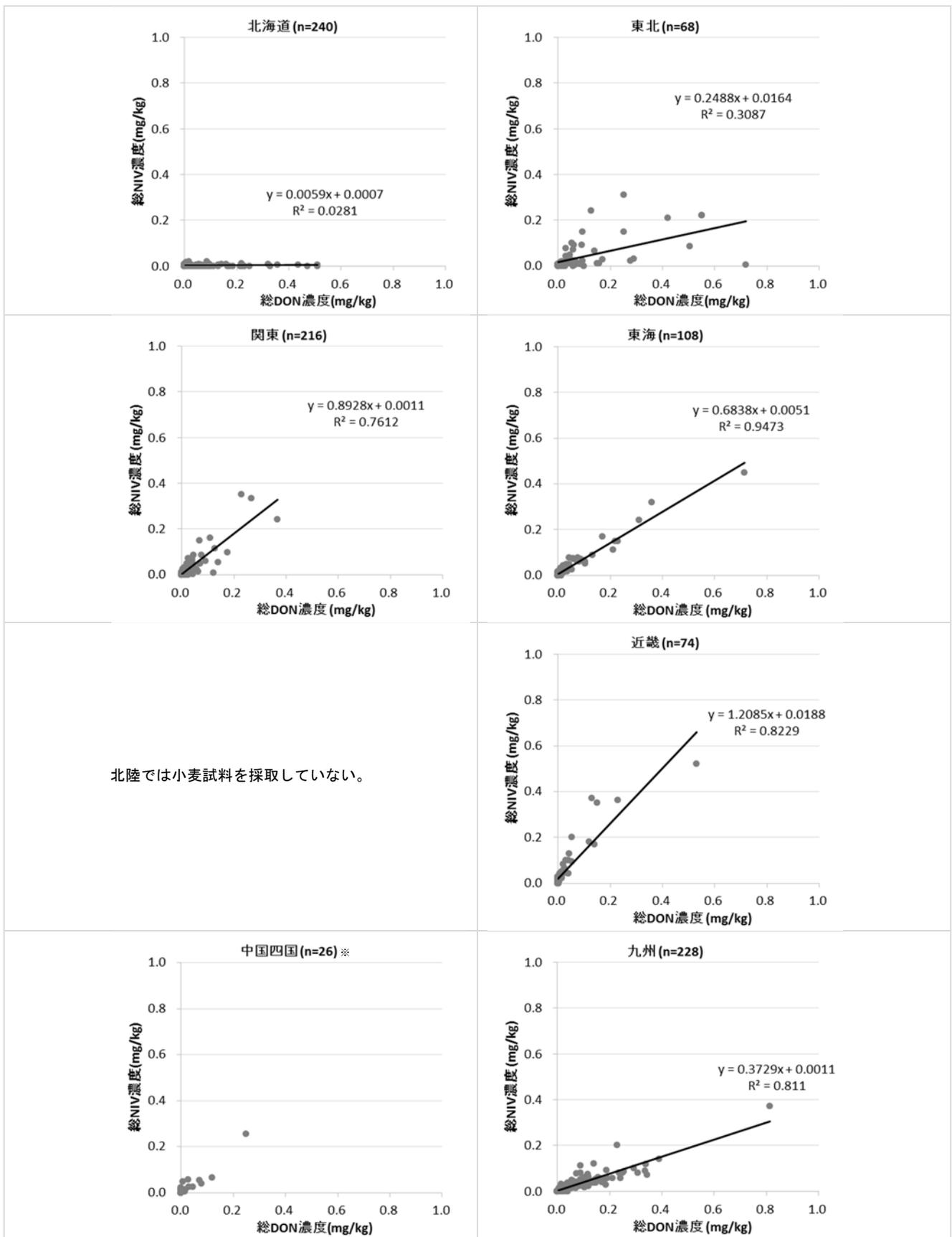


図 1-24 小麦中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の相関（地域別）

※データ数が少ないため、統計的に回帰直線や r^2 の推定は不適切

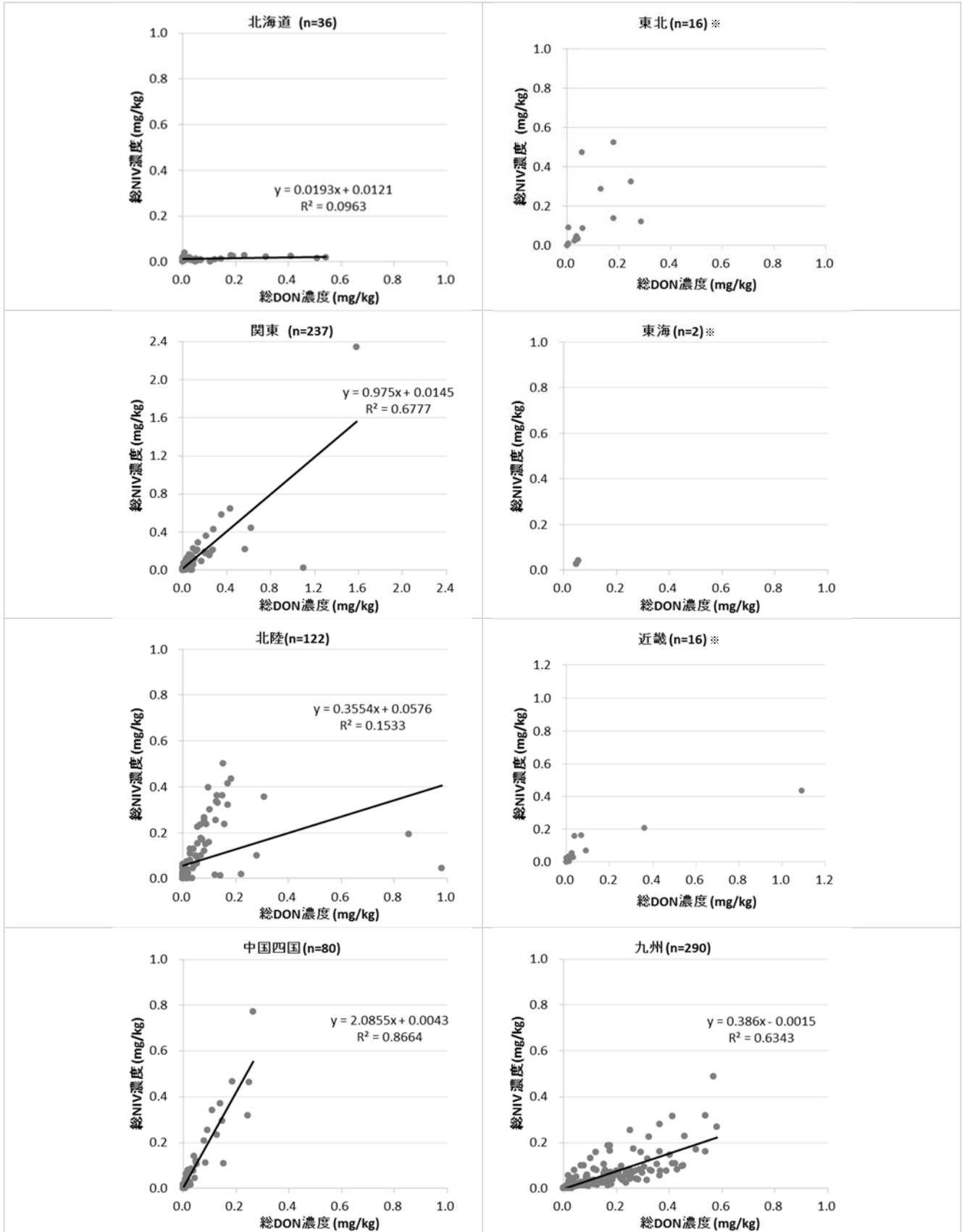


図 1-25 大麦中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の相関（地域別）

※データ数が少ないため、統計的に回帰直線や r^2 の推定は不適切

1.4.3. 麦類の DON・NIV 汚染と *Fusarium* の関係

試料を採取した地域によって、小麦及び大麦中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の大小や相関の程度は異なっており、我が国において、生産地域によって小麦及び大麦に感染する *Fusarium* の菌種や菌株が異なることを裏付ける結果が得られた（表 1-2）。

表 1-2 小麦・大麦に含まれる地域別の総 DON 濃度と総 NIV 濃度の大小比較と両者の相関

地域区分	総 DON 濃度と総 NIV 濃度との大小比較	総 DON 濃度と総 NIV 濃度との相関	
		相関	強さ
北海道	総 DON >> 総 NIV = 0 (小麦、大麦)	なし	-
東北	総 DON ≥ 総 NIV (小麦)	正	弱
関東	総 DON = 総 NIV (小麦、大麦)	正	強
東海	総 DON ≥ 総 NIV (小麦)	正	強
北陸	総 DON << 総 NIV が主 総 DON > 総 NIV もあり (大麦)	正	弱
近畿	総 DON ≤ 総 NIV (小麦)	正	強
中国四国	総 DON << 総 NIV (大麦)	正	強
九州	総 DON ≥ 総 NIV (小麦、大麦)	正	強

北海道で採取された試料からは総 NIV がほとんど検出されず、北海道における小麦及び大麦に感染する *Fusarium* の菌種や菌株の構成が、総 NIV が検出されたその他の地域とは大きく異なると推察された。

総 DON 濃度と総 NIV 濃度とに極めて強い正の相関があった地域では、小麦及び大麦に感染する *Fusarium* の菌種や菌株の構成が、それぞれの地域内で類似していると推察された。一方、両者の相関が弱かった東北や北陸では、それぞれの地域内において小麦及び大麦に感染する *Fusarium* の菌種や菌株の構成が多様であると推察された。

また、北海道、関東及び九州の 3 地域では、小麦及び大麦中の総 DON 濃度と総 NIV 濃度との大小の傾向が類似しており、小麦、大麦を問わず、同じ菌種や菌株の *Fusarium* が DON、NIV 汚染に関与している可能性が高いと推察された。

我が国の小麦又は大麦に感染している *Fusarium* の調査では、北海道では DON 産生型が優占し、NIV 産生型はほとんど分離されないこと⁸、東北では DON 産生型の分離頻度が高く、関東では DON 産生型と NIV 産生型の分離頻度が同程度であること⁹、それ以外の地域では NIV 産生型の分離頻度が高いこと^{10, 11}が報告されている。今回の北海道、東北、関東、北陸、近畿及び中国四国における調査結果は、これらの知見とも整合して

⁸ 北海道道央地域産 *Fusarium graminearum* (種複合体)の毒素タイプと分子系統種の同定, 北日本病害虫研究会報 2005(56), 24-26 (2005)

⁹ 東日本のムギ類赤かび病罹病穂から分離された病原菌の菌種と分離菌株のかび毒産生性, 中央農研研究報告 11: 191-199 (2008)

¹⁰ 西日本におけるムギ類赤かび病菌 *Fusarium graminearum* 種複合体のかび毒産生能と病原力, 日植病報 73: 106-111 (2007)

¹¹ 東海地方に分布するムギ類赤かび病菌の菌種及びマイコトキシン産生型, 愛知農総試研報 39: 17-23 (2007)

いた。

東海及び九州では、DON 産生型よりも NIV 産生型の *Fusarium* が多く分離されること^{10, 11}が報告されていたが、本調査では東海及び九州における小麦及び大麦中の総 NIV 濃度は総 DON 濃度よりも低かった。これは、NIV 産生型の *Fusarium* の中には、毒素産生能が DON 産生株と比較し弱いものがあるとの報告¹⁰と関係している可能性がある。

第2章 麦類の DON、NIV 汚染の防止・抑制対策の実施状況と DON、NIV 濃度の関係

2.1. 赤かび病抵抗性による DON、NIV 汚染の防止・抑制

麦類は品種によって、早晚性、収量性、たんぱく含量、各種の病害抵抗性等の特性が異なる。そこで、都道府県ごとに、栽培地域に適した奨励品種が定められている。

赤かび病抵抗性も、育種や奨励品種決定の際に評価されている麦類の主要な特性の1つである。農林水産省策定の指針では、DON、NIV 汚染を防止・抑制するため、赤かび病抵抗性の強い品種を選択することを推奨している。

品種名に関する情報を入手できた平成 22 年～平成 27 年の小麦試料 720 点、大麦試料 599 点を都道府県別奨励品種特性表¹²の赤かび病抵抗性に基づいて「強」、「やや強」、「中」、「やや弱」、「弱」の 5 つに分類し、調査試料の赤かび病抵抗性の構成を解析した。

2.1.1. 小麦

調査試料の赤かび病抵抗性を全国及び地域別（地域区分は表 1-1 を参照）に示した（図 2-1）。

全国の調査試料の約 8 割が赤かび病抵抗性「中」の品種であり、「やや強」、「やや弱」の品種がそれぞれ約 1 割であった。赤かび病抵抗性「強」又は「弱」の品種はなかった。

いずれの地域でも赤かび病抵抗性「中」の品種が主流となっていた。

これらの結果は、国内における小麦の奨励品種¹³のほとんどが、赤かび病抵抗性「中」の品種であることと一致していた。

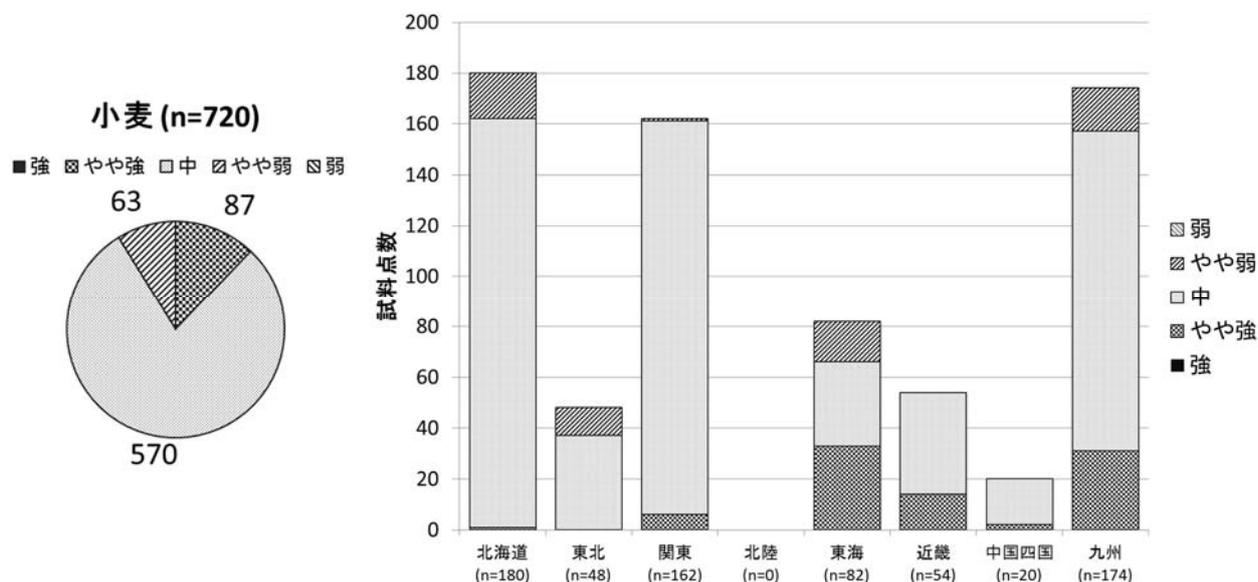


図 2-1 小麦試料の赤かび病抵抗性内訳（全国：円グラフ、地域別：棒グラフ）

¹² 水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表 平成 25 年度版（農林水産省生産局編）

¹³ 麦類の赤かび病抵抗性別の国内栽培奨励品種一覧

http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/pdf/mugi_syourei.pdf

2.1.2. 大麦

調査試料の赤かび病抵抗性を全国及び地域別に示した（図 2-2）。

全国の調査試料の 7 割弱が赤かび病抵抗性「強」又は「やや強」の品種、2 割が「やや弱」又は「弱」の品種で、1 割が「中」の品種であった。地域別では、北海道と九州ではほぼすべてが「強」又は「やや強」の品種であった。一方、北陸ではすべて「やや弱」の品種であった。関東や中国四国では「強」又は「やや強」が多いものの、「やや弱」又は「弱」の品種もあった。

これらの結果は、国内の各産地において奨励されている品種（例えば、北陸では「やや弱」の品種が、九州では「強」や「やや強」の品種が多い。）と一致していた。

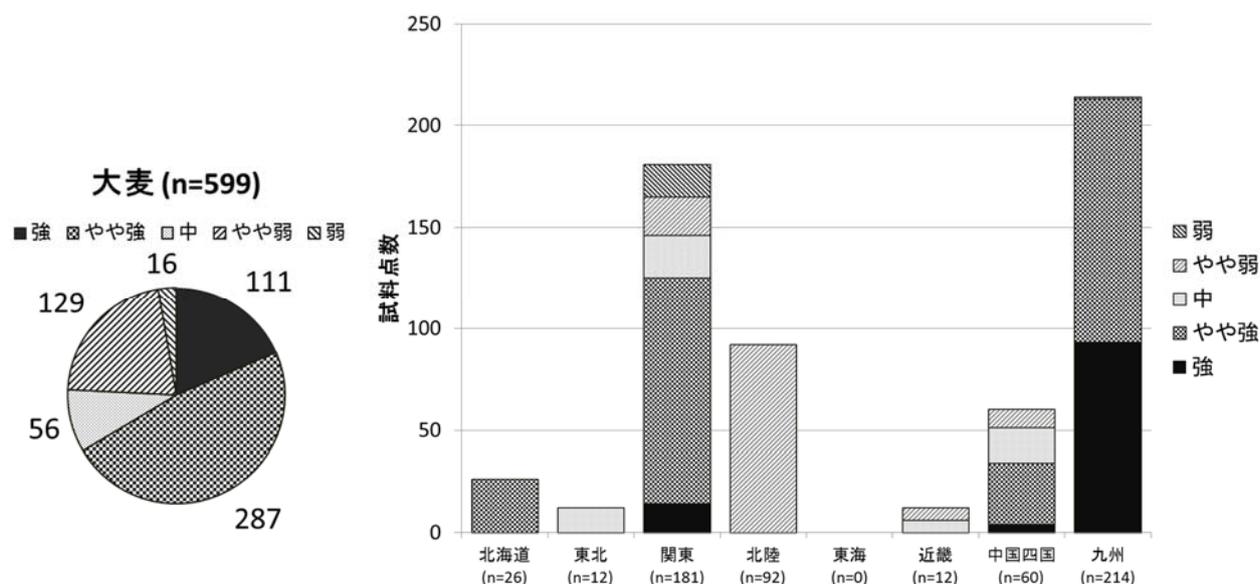


図 2-2 大麦試料の赤かび病抵抗性内訳（全国：円グラフ、地域別：棒グラフ）

2.1.3. 赤かび病抵抗性と DON、NIV 濃度の関係

赤かび病抵抗性の強弱と DON、NIV 汚染の関係を見るため、小麦、大麦別に品種の赤かび病抵抗性に基づいてそれぞれ「強及びやや強」、「中」、「やや弱及び弱」の 3 群に調査試料を分類し、各群の遊離型の DON 濃度と NIV 濃度の合計（以下「DON・NIV 濃度」という。）を比較した。赤かび病抵抗性別の DON・NIV 濃度の相対度数分布を図 2-3 に示した。

小麦においては、3 群の DON・NIV 濃度に統計学的に有意な差があった（Kruskal-Wallis H 検定、 $\alpha=0.05$ ）。3 群の DON・NIV 濃度の対比較（Mann-Whitney U 検定、 $\alpha=0.05$ ）をした結果、赤かび病抵抗性が「やや弱及び弱」の群及び「強及びやや強」の群は、いずれも「中」の群より DON・NIV 濃度が有意に高かったが、「やや弱及び弱」の群と「強及びやや強」の群との間には、統計学的に有意な差が認められなかった。

大麦においては、3 群の DON・NIV 濃度に統計学的に有意な差は認められなかった（Kruskal-Wallis H 検定、 $\alpha=0.05$ ）。

小麦、大麦のいずれにおいても、赤かび病抵抗性が強い群と弱い群との間で DON・NIV 濃度に統計学的に有意な差がなかったのは、品種による栽培地域、栽培方法、気象状況等の差異が小麦、大麦中の DON、NIV 濃度に大きく影響したためと推察される。

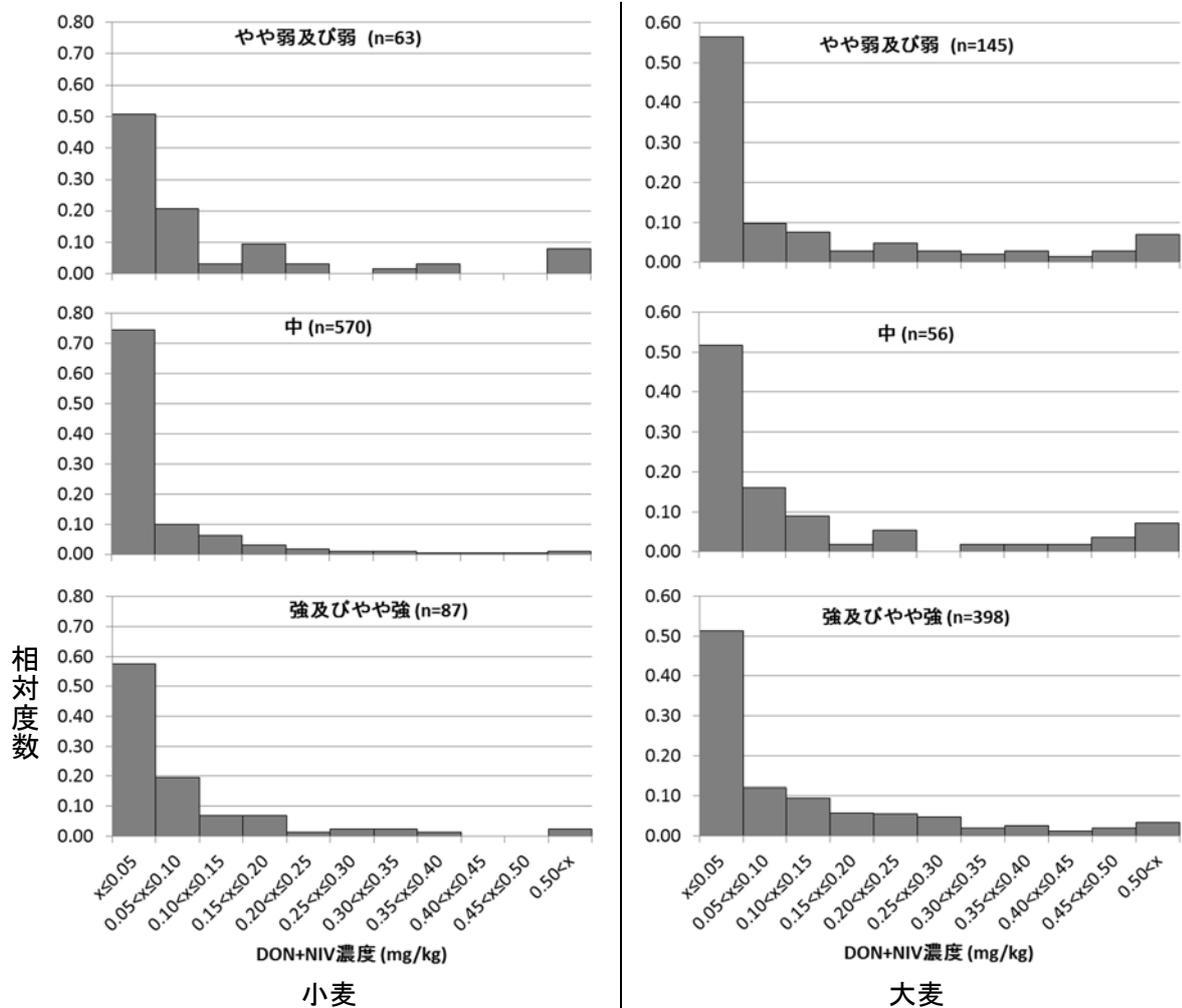


図 2-3 赤かび病抵抗性別の遊離型の DON 濃度と NIV 濃度の合計の相対度数分布（左側：小麦、右側：大麦）

2.2. 麦類赤かび病の農薬防除による DON、NIV 産生の防止・抑制

指針は、赤かび病の発生を防止し、DON、NIV 汚染を防止・抑制するために、麦の種類ごとの適期（小麦及び六条大麦の場合は開花期、二条大麦の場合は穂揃い期の 10 日後頃）に農薬による最初の防除（以下「初回防除」という。）を実施することを推奨している。また、地域の気象状況、過去の被害の状況、指導機関からの情報、品種の赤かび病抵抗性なども考慮して、必要に応じて 2 回目以降の防除（以下「追加防除」という。）を実施することも推奨している。

また、指針は、DON、NIV 産生の防止・抑制効果等を考慮して、赤かび病の防除のための殺菌剤を選択することも推奨している。技術情報は、小麦中の DON 産生の防止・抑制効果が高い殺菌剤として、表 2-1 の農薬を紹介しており、これらの農薬の毒性が DON、NIV の毒性より低いことを、科学的根拠を挙げて示している¹⁴。農林水産省が実施した農産物の農薬の残留状況調査も、それらの農薬の小麦及び大麦中の残留濃度は極めて低いことを示している¹⁵。適切な農薬を適期に適切に使用すれば、DON、NIV 濃度を低く抑えることが可能であり、より安全性の高い麦類を生産することが可能である。

平成 22 年～平成 27 年の試料採取地点のうち、使用農薬についての情報が得られた小麦 719 地点、大麦 597 地点における麦類赤かび病防除に使用された農薬を調査した。DON 産生の防止・抑制効果が高いとされている 3 剤の他に、プロピコナゾール、クレソキシムメチル、イミノクタジン酢酸塩・チオファネートメチル混合剤、イミノクタジン酢酸塩、硫黄及びトリフルミゾールが使用されていた。ここではそれらの農薬の散布回数及び使用実績を解析した。

表 2-1 赤かび病防除及び DON 防止・抑制の効果が高いとされている農薬（殺菌剤）と使用基準

有効成分	作物名	使用時期	使用回数【有効成分を含む剤の使用回数】	
チオファネートメチル	水和剤	小麦	収穫 14 日前まで	3 回以内（出穂期以降は 2 回以内）
	ゾル剤			【4 回以内（種子 1 回、散布・無人ヘリ散布は合計 3 回以内、出穂期以降は 2 回以内）】
	粉剤			
	水和剤	大麦	収穫 30 日前まで	3 回以内（出穂期以降は 1 回）
	ゾル剤	大麦	収穫 21 日前まで	
	粉剤	大麦	収穫 14 日前まで	
テブコナゾール （フロアブル剤）	小麦	収穫 7 日前まで	2 回以内【3 回以内（根雪前は 1 回以内、融雪後は 2 回以内）】	
	大麦	収穫 14 日前まで	2 回以内【2 回以内】	
メトコナゾール （粉剤、フロアブル剤）	小麦 大麦	収穫 7 日前まで	3 回以内【3 回以内】	

¹⁴ 「指針活用のための技術情報」（農林水産省）（2016 年）13 ページ参照

¹⁵ 国内産農産物における農薬の使用状況及び残留状況調査の結果について（農林水産省）

2.2.1. 農薬の散布回数

小麦及び大麦の赤かび病防除のために使用された農薬の散布回数を全国及び地域別（地域区分は表 1-1 を参照）に、それぞれ図 2-4 及び図 2-5 に示した。

なお、各地点における各農薬の使用回数を確認した結果、使用基準が遵守されており、適切に使用されていた。

2.2.1.1. 小麦

日本全体では、719 地点のうち、663 地点（全地点の 92%）で農薬散布が行われており、313 地点（全地点の 44%）で複数回の散布が行われていた。

北海道ではほぼすべての地点で、東北では約 70%の地点で複数回の散布が行われていた。関東、東海、近畿、中国四国及び九州では、散布回数が 1 回の地点が多かった。東北及び関東には散布回数が 0 回の地点が約 20%程度あった。

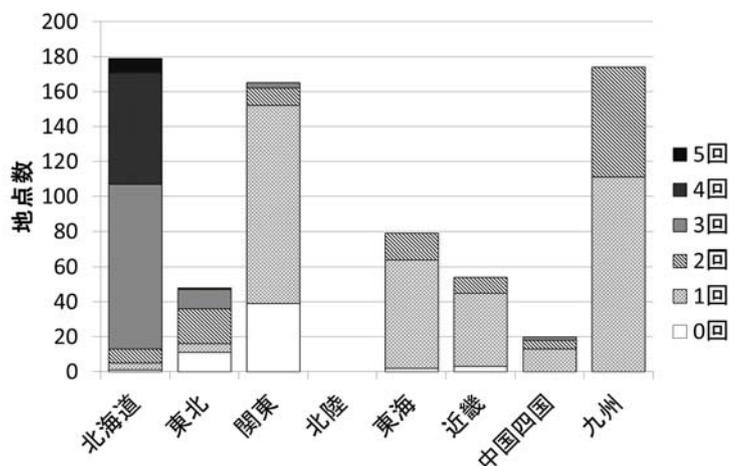
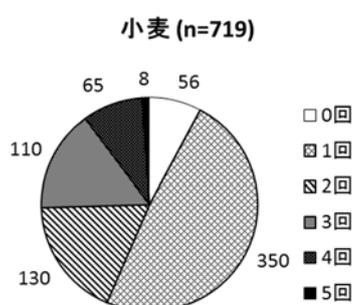


図 2-4 小麦における農薬散布回数
（全国：円グラフ、地域別：棒グラフ）

2.2.1.2. 大麦

日本全体では、597 地点のうち、547 地点（全地点の 92%）で農薬散布が行われており、147 地点（全地点の 25%）で複数回の散布が行われていた。

北海道及び北陸では、ほとんどの地点で複数回の散布が行われていた。関東、中国四国及び九州では、散布回数が 1 回の地点が多かった。関東には散布回数が 0 回の地点が 20%程度あった。

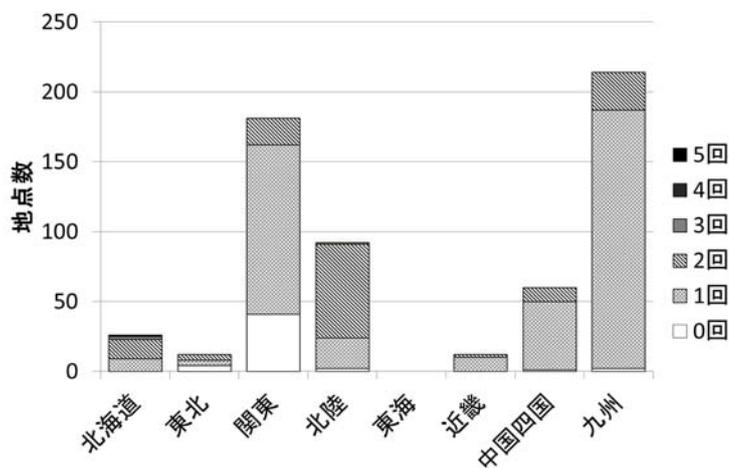
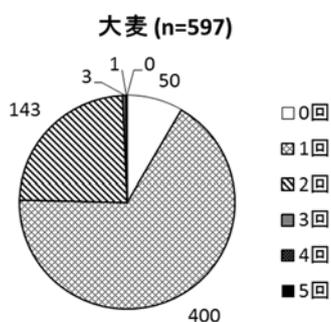


図 2-5 大麦における農薬散布回数
（全国：円グラフ、地域別：棒グラフ）

2.2.2. 使用された農薬

赤かび病防除のために使用された記録がある農薬を初回防除と追加防除に分類し、それぞれの防除時期に使用頻度が高い農薬等について解析した。小麦及び大麦の初回防除又は追加防除別に使用農薬の内訳を図 2-6 に示した。

なお、各地点における農薬の使用時期を確認した結果、使用基準が遵守されており、適切に使用されていた。

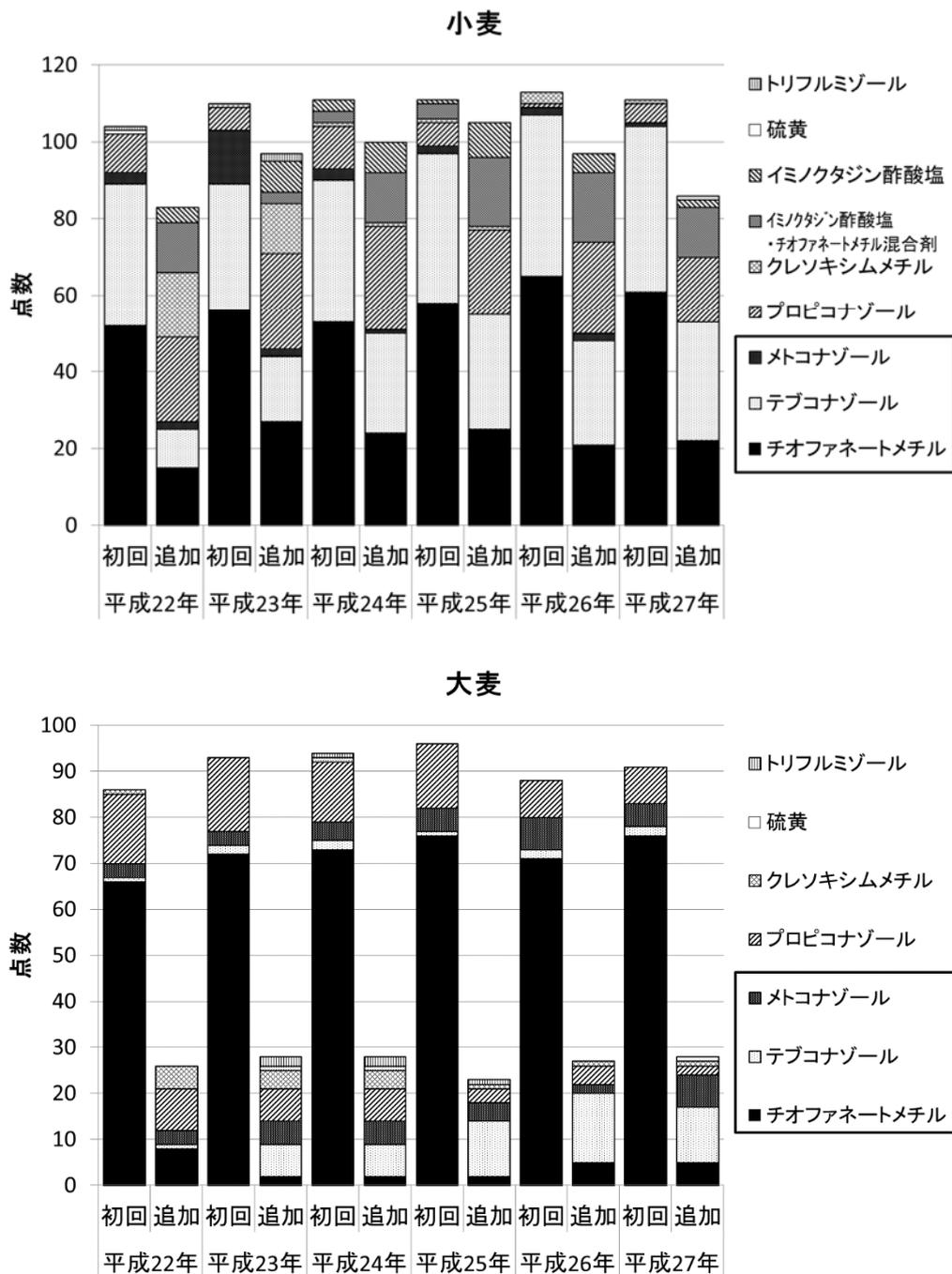


図 2-6 赤かび病適用農薬の使用時期別の使用実績（上：小麦、下：大麦）

注釈)「初回」は初回防除、「追加」は追加防除（2回目以降の延べ点数の内訳）を示す。
 四角囲みの農薬は、農林水産省の技術情報で DON 産生の防止・抑制効果が高い農薬として紹介しているもの。

2.2.2.1.小麦

初回防除に使用された農薬の約 9 割が、チオファネートメチル又はテブコナゾールのいずれかであった。メトコナゾールの使用は前述の 2 剤と比較すると少なかった。プロピコナゾールが使用されていた地点もあった¹⁶。初回防除に使用されている農薬の種類は、平成 22 年～平成 27 年の間では、いずれの年次も同様の傾向にあった。

追加防除においては、平成 27 年では、チオファネートメチル、テブコナゾール、プロピコナゾール若しくはイミノクダジン酢酸塩・チオファネートメチル混合剤のいずれかの使用又はこれらの併用が多かった。平成 23 年までは追加防除にクレソキシムメチルも使用されていたが、平成 24 年以降ではほとんど使用されていなかった。メトコナゾールは追加防除にほとんど使用されていなかった。

平成 27 年実績によると、農薬散布が実施された 112 地点のうち、初回防除又は追加防除に DON 産生の防止・抑制効果が高いとされる 3 剤のいずれかが使用されていた地点が 106 地点（全地点の 95%）あった。

2.2.2.2.大麦

初回防除に使用された農薬の約 8 割がチオファネートメチルであった。次いで使用が多かったのはプロピコナゾールであり、テブコナゾール、メトコナゾールの使用は少なかった。

追加防除においては、チオファネートメチルの使用は比較的少なく、テブコナゾール、メトコナゾールの他、プロピコナゾール、クレソキシムメチルのいずれかの使用が多かった。平成 25 年以降では、クレソキシムメチルの使用は少なく、テブコナゾールが最も多く使用されていた。

平成 27 年実績によると、農薬散布が行われた 91 地点のうち、初回防除又は追加防除に DON 産生の防止・抑制効果が高いとされる 3 剤のいずれかが使用されていた地点が 86 地点（全地点の 95%）あった。

2.2.3. DON、NIV 産生の防止・抑制のための赤かび病防除と麦類中の DON、NIV 濃度

小麦、大麦のいずれにおいても、全調査地点のうち、90%以上の地点において、少なくとも 1 回は赤かび病防除のために農薬散布が実施されていた。全調査地点のうち、小麦では 43%、大麦では 25%の地点で追加防除が実施されていた。

小麦、大麦のいずれにおいても、赤かび病防除のためには、チオファネートメチルの使用頻度が最も高かった。次いで使用頻度が高かったのはテブコナゾールであり、DON 産生防止・抑制効果が高いとされている農薬の使用頻度が高いことが確認できた。一方、防除の実施回数が 1 回の地点が多かった大麦では、チオファネートメチルの使用割合が極めて高く、1 種類の農薬に依存している産地があることが明らかとなった。同一の農薬（又は同一の作用機構の農薬）の連続使用は耐性菌の発生リスクを高めることが知ら

¹⁶ 技術情報で DON 低減効果が高いとして紹介している農薬には下線を付けた。

れており、実際に国内各地でチオファネートメチル耐性の赤かび病菌の発生が既に確認されている^{17, 18, 19}。

小麦、大麦のいずれにおいても、追加防除にチオファネートメチルを使用する頻度は初回防除よりも低く、テブコナゾール、メトコナゾール、プロピコナゾール又はイミノクタジン酢酸塩・チオファネートメチル混合剤が主に使用されていた。

近年の研究により、開花期の農薬散布が赤かび病の発病の防止・抑制に効果的で、開花 10 日～20 日後に追加して農薬を散布すると DON、NIV の産生抑制に効果が高いことが判明した^{20, 21}。本調査で、小麦中の DON、NIV 濃度が大麦中の DON、NIV 濃度よりも低い傾向にあったのは、小麦栽培においては、大麦より追加防除の実施率が高いことが要因の 1 つと推察される。

なお、今回の調査で、農薬による赤かび病防除を行っていなかった地点が、小麦、大麦でそれぞれ全地点の 1 割程度ずつあった。それらの地点の DON、NIV 濃度を解析した結果、農薬を散布した地点と比較して、DON、NIV 濃度が高い傾向は見られなかった。この結果から、農薬による防除が行われなかった地点でも、気象状況等に恵まれれば、赤かび病がほとんど発生せず、DON、NIV 濃度が高くないことがあると考えられた。一方、小麦又は大麦の出穂期以降に気温や湿度が高い状態が続けば、農薬による防除が行われないと赤かび病が大発生し、高濃度の DON、NIV 汚染が生じる可能性がある。

-
- ¹⁷ 黒田克利, and 鈴木啓史. "三重県におけるチオファネートメチル剤耐性赤かび病菌の初確認." 関西病虫害研究会報 51 (2009): 37-38.
- ¹⁸ 岩間俊太, 勝部和則, and 石井英夫. "チオファネートメチル耐性コムギ赤かび病菌 *Fusarium culmorum* の検出." 日本植物病理学会報 73.3 (2007): 162-165.
- ¹⁹ 吉松英明, et al. "チオファネートメチル剤に対する *Fusarium graminearum* の耐性菌の初確認と *F. avenaceum* のベースライン感受性 (九州部会講演要旨, 平成 17 年度地域部会講演要旨)." 日本植物病理学会報 72.1 (2006): 32.
- ²⁰ 生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発 [かび毒・病原微生物 (第 2 編)] 研究成果 522 (2014.3), p57-60 農林水産技術会議事務局
- ²¹ Yoshida, Megumi, et al. "Effect of the timing of fungicide application on *Fusarium* head blight and mycotoxin contamination in wheat." *Plant Disease* 96.6 (2012): 845-851.

2.3. 選別による DON、NIV 濃度の低減

指針は、乾燥調製施設において、粒厚選別、比重選別等による調製を実施し、DON、NIV 濃度の低減に努めることを推奨している。そこで、平成 27 年に試料を採取した小麦 120 施設、大麦 100 施設で使用されていた選別方法を解析した。

また、選別による効果を確認するため、平成 24 年～平成 26 年に実態調査用に採取した主食用麦と同一ロットの麦を調製する過程で選別・除去された細麦・屑麦を採取し、その遊離型の DON、NIV 濃度を分析し、主食用麦における遊離型の DON、NIV 濃度と比較した。

2.3.1. 乾燥調製施設における選別方法

小麦では 120 施設のすべてで粒厚選別が実施されていた。このうちの 79 施設が比重選別を併用、19 施設が色彩選別を併用していた。粒厚選別、比重選別及び色彩選別をすべて実施していた施設も、16 施設あった。

大麦でも 100 施設のすべてで粒厚選別が実施されていた。このうちの 50 施設では比重選別を併用、18 施設では色彩選別を併用していた。粒厚選別、比重選別及び色彩選別をすべて実施していた施設も、14 施設あった。

色彩選別は、主にコメの被害粒を除去するために使用される技術であるが、米麦二毛作地域や水田転作麦ほ場が多い地域で使用実績が多かった。

2.3.2. 主食用麦と細麦・屑麦の DON、NIV 濃度の比較

2.3.2.1. 小麦

平成 24 年～平成 26 年の 3 年間に採取した 231 組の主食用麦と細麦・屑麦とに含まれる DON、NIV 濃度を比較した²² (図 2-7)。

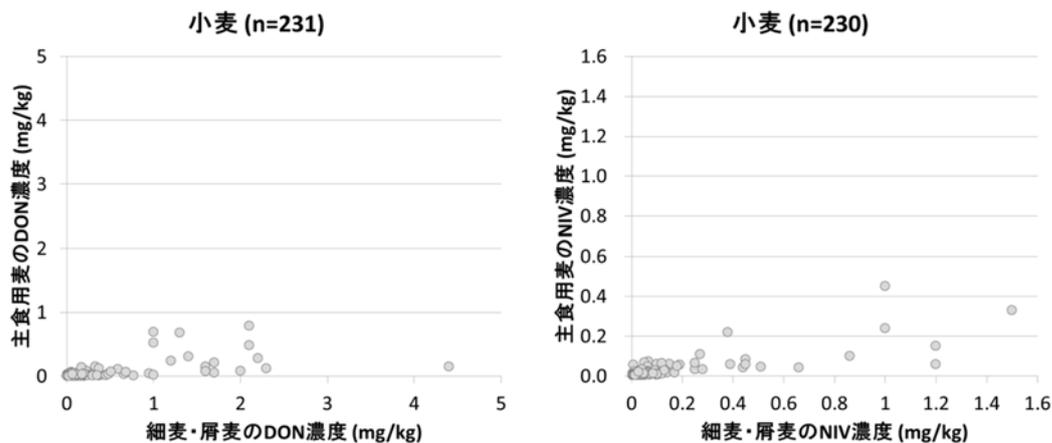


図 2-7 主食用小麦と選別された細麦・屑麦中の DON、NIV 濃度の比較

²² 細麦・屑麦 1 点は妨害ピークがあり、採用した分析法では NIV の定量ができなかったため、NIV のデータ数は 230 である。

ほとんどの細麦・屑麦中の DON、NIV 濃度は、対応する主食用麦中の DON、NIV 濃度と比較して高かった。選別後の主食用と細麦・屑麦に対応するデータを統計学的に比較したところ、DON、NIV のいずれにおいても、細麦・屑麦中の濃度が主食用麦中の濃度より有意に高かった (Wilcoxon 符号付順位検定、 $\alpha=0.05$)。

細麦・屑麦及び主食用麦中の DON 濃度及び NIV 濃度の相対度数分布を図 2-8 及び図 2-9 に示した。下のグラフは、主食用小麦において、DON、NIV 濃度の分布が細麦・屑麦の分布と比較して低濃度側にあること、すなわち、選別により高濃度で DON、NIV を含む穀粒を除去できていることを示している。

細麦・屑麦試料のうち 13 点の DON 濃度は、厚生労働省が設定した食用小麦の DON の暫定基準値 (1.1 mg/kg) より高かった。また、それらの細麦・屑麦中の DON 濃度は、農林水産省が設定した飼料 (生後 3 か月以上の牛用を除く) 管理基準 (1 mg/kg) よりも高く、生後 3 か月以上の牛用の飼料管理基準 (4 mg/kg) より高い試料も 1 点あった。

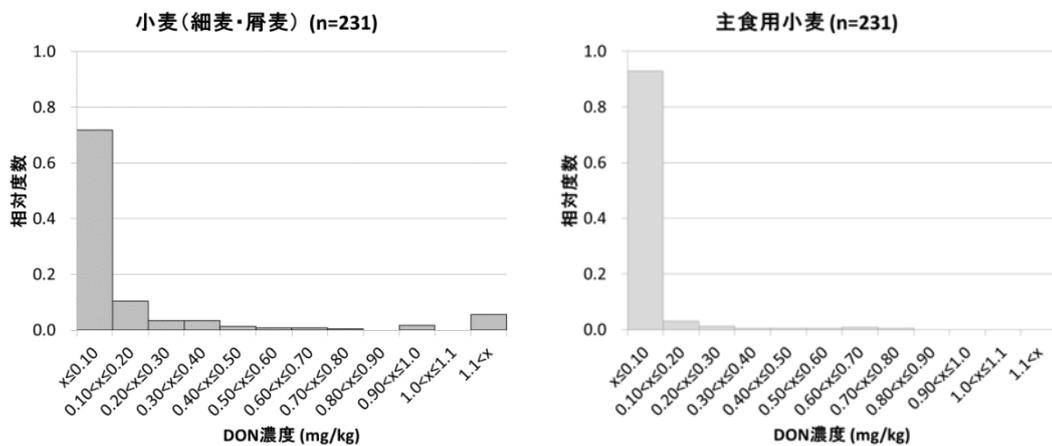


図 2-8 小麦の細麦・屑麦 (左側) 及び主食用小麦中 (右側) の DON 濃度の相対度数分布

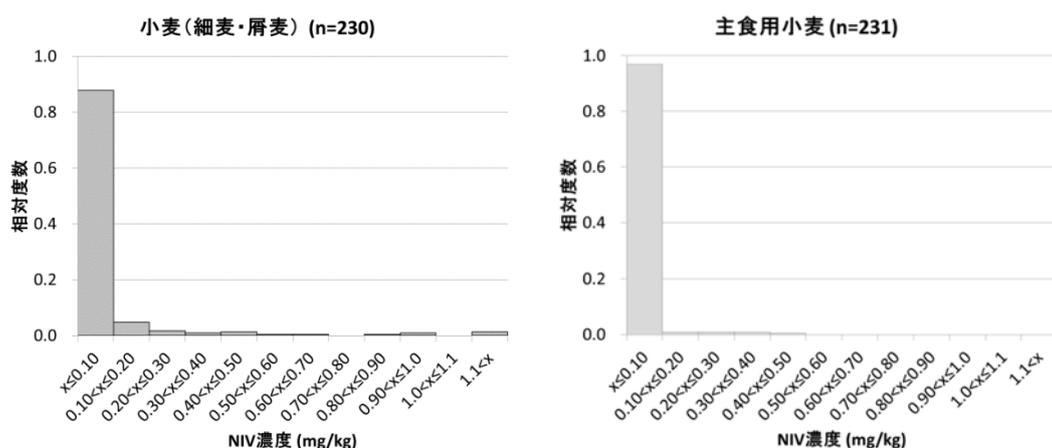


図 2-9 小麦の細麦・屑麦 (左側) 及び主食用小麦中 (右側) の NIV 濃度の相対度数分布

2.3.2.2. 大麦

平成 24 年～平成 26 年の 3 年間に採取した 125 組の主食用麦と細麦・屑麦中の DON、

NIV 濃度を比較した (図 2-10)。

ほとんどの細麦・屑麦中の DON、NIV 濃度は、対応する主食用麦中の DON、NIV 濃度と比較して高かった。主食用麦中の DON、NIV 濃度が、細麦・屑麦中の DON、NIV 濃度よりも著しく高い試料が 1 点あったが、その原因は不明であった。

選別後の主食用と細麦・屑麦に対応するデータを統計学的に比較したところ、DON、NIV のいずれにおいても、細麦・屑麦中の濃度が主食用より有意に高かった (Wilcoxon 符号付順位検定、 $\alpha=0.05$)。

細麦・屑麦及び主食用麦中の DON 濃度及び NIV 濃度の相対度数分布を図 2-11 及び図 2-12 に示した。下のグラフも、主食用大麦において、DON、NIV 濃度の分布が細麦・屑麦の分布と比較して低濃度側にあること、すなわち、選別により高濃度で DON、NIV を含む穀粒を除去できていることを示している。

大麦の細麦・屑麦には、飼料の管理基準を超えたものは無かった。

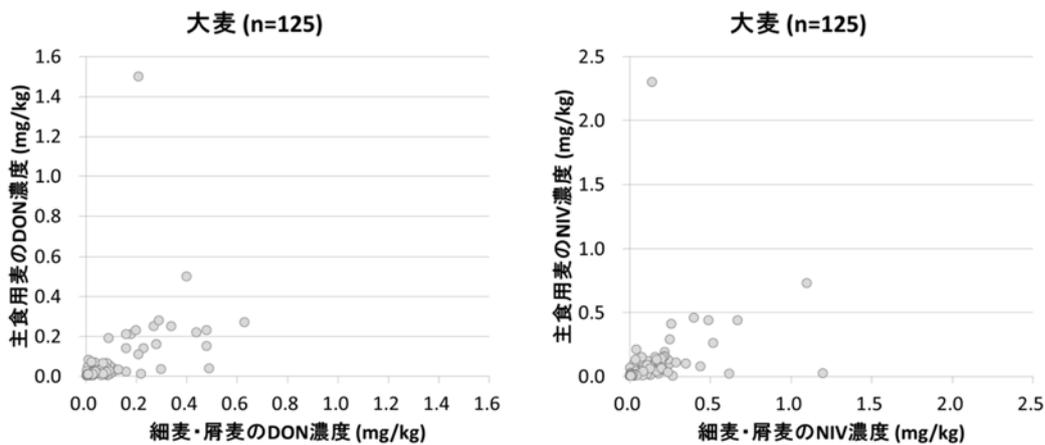


図 2-10 主食用大麦と選別された細麦・屑麦中の DON、NIV 濃度の比較

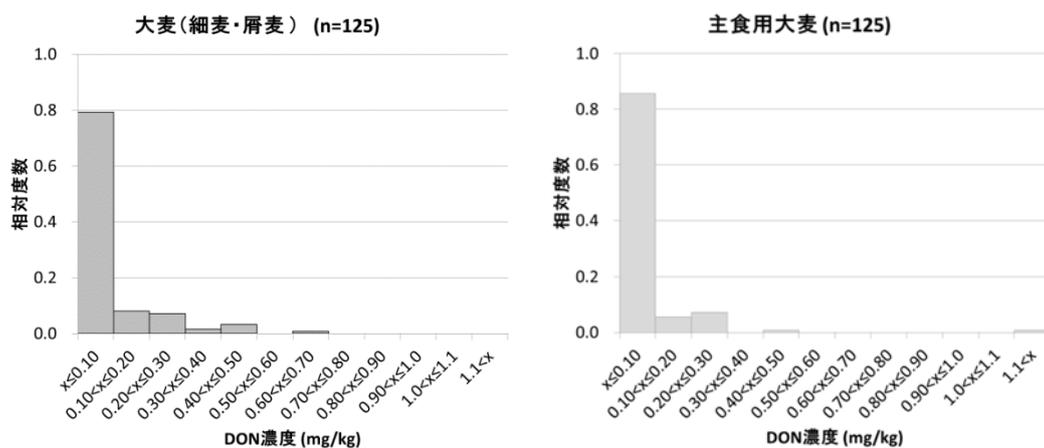


図 2-11 大麦の細麦・屑麦 (左側) 及び主食用大麦中 (右側) の DON 濃度の相対度数分布

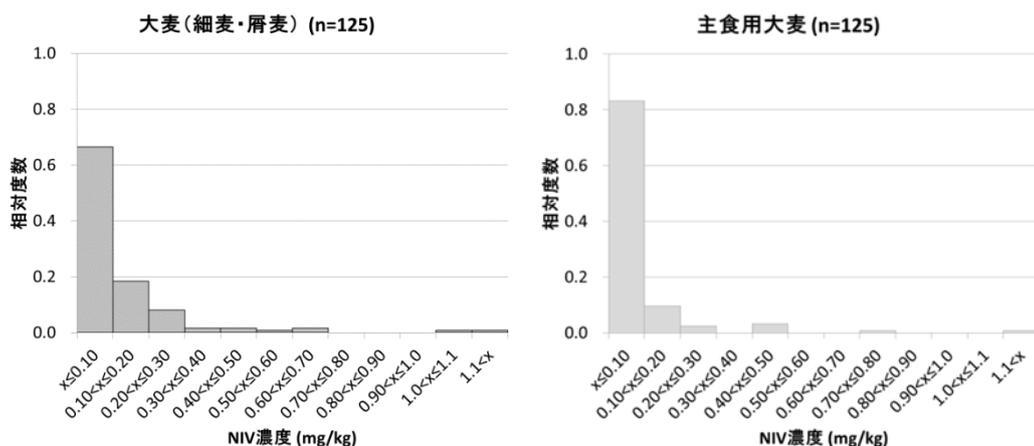


図 2-12 大麦の細麦・屑麦（左側）及び主食用大麦中（右側）の NIV 濃度の相対度数分布

2.3.3. 選別による DON、NIV 低減効果

技術情報や試験研究^{23, 24, 25}等で報告されているように、小麦、大麦のいずれにおいても、粒厚が薄いほど DON、NIV 濃度が高い傾向にあるため、粒厚選別及び比重選別の実施によって DON、NIV 等の濃度が高い穀粒を選別・除去できる。

平成 27 年の調査では、小麦、大麦のいずれにおいても調査対象となったすべての乾燥調製施設で粒厚選別が実施されていた。

同一ロットの小麦又は大麦から乾燥調製施設で選別によって主食用と細麦・屑麦に選別された小麦又は大麦中の DON、NIV 濃度を比較したところ、小麦、大麦のいずれにおいても細麦・屑麦中の DON、NIV 濃度が主食用麦中の DON、NIV 濃度よりも有意に高く、粒厚選別や比重選別が DON、NIV 濃度の低減に有効であることが証明された。

細麦・屑麦の DON 濃度は、食品や飼料の基準値を超える場合があることも確認された。そのため、細麦・屑麦を主食用以外の食品原料として利用する場合は、分析により基準値に適合しているかを確認し、消費者に健康被害が生じないようにしなければならない。また、飼料として利用する場合には、食用に適さない穀類等を飼料に転用する際の手続²⁶が定められているので、同手続に基づき飼料の安全を確認しなければならない。

²³ 吉田めぐみ, et al. "赤かび病菌に人為的に感染させたオオムギ品種における収穫物の粒厚とかび毒濃度の関係." 九州病害虫研究会報 62 (2016): 1-11.

²⁴ 吉田めぐみ, and 中島隆. "赤かび病かび毒自然汚染オオムギ試料の粒厚とかび毒濃度の関係の調査事例." 九州病害虫研究会報 62 (2016): 12-19.

²⁵ 中島隆, et al. "西日本における赤かび病自然発生圃場のコムギ試料における粒厚、赤かび粒率およびマイコトキシン汚染度の関係." 九州病害虫研究会報 50.0 (2004): 6-9.

²⁶ 食用不適穀類等の飼料転用に当たっての安全確認手続について（平成 21 年 3 月 18 日付け 20 消安第 11157 号農林水産省消費・安全局長通知）

2.4. かび毒検査による DON、NIV の低減効果の確認

指針は、自主的な DON、NIV 低減のための取組や各都道府県や集荷・出荷団体の技術指導に基づく対策の効果を検証するため、ほ場や出荷ロットの単位で、生産者や集荷団体等が DON、NIV の濃度を測定することを推奨している。

平成 22 年～平成 27 年の 6 年間に入手した調査試料（小麦 720 点、大麦 599 点）に対する DON の検査の実施状況を解析した。

年次別の各地域の DON の検査の実施率には、ほとんど変化が無かったことから、全国及び地域別の 6 年間の平均実施率を表 2-2 示した。

日本全体では、小麦における検査の実施率は約 8 割と高かったが、大麦においてはその半分以下であった。地域別では、北海道、近畿及び中国四国は小麦、大麦のいずれにおいても実施率が約 7～9 割と高く、東北は小麦、大麦とも実施率が約 2～3 割と低かった。関東及び九州は、小麦における実施率が大麦における実施率よりも高かった。北陸は、大麦における実施率が 2%と全国平均や他の地域と比較して極めて低かった。

表 2-2 DON の検査の地域別平均実施率（平成 22 年～平成 27 年実績）

	全国	北海道	東北	関東	北陸	東海	近畿	中国四国	九州
小麦	81%	88%	27%	81%	-	67%	93%	75%	92%
大麦	29%	77%	17%	32%	2%	-	83%	68%	23%

小麦では、生産量が多い地域（北海道、関東、九州）において、検査の実施率が高い傾向にあった。小麦には、DON の暫定基準値が設定されているため、検査の実施率が高かったと考えられる。

大麦では、小麦と同様に実施率が高い地域もあったが、全国的に見ると小麦より実施率が低く、生産量が多い地域（関東、北陸、九州）においても実施率が小麦と比較して高くはなかった。本調査では、大麦中の DON 及び NIV 濃度は小麦よりも高い傾向にあったことに留意する必要がある。

麦類赤かび病に関する注意報や警報が発令された地域や、実際に麦類赤かび病が発生した年には、穀粒中の DON、NIV 濃度が上昇する可能性が高い。しかし、平成 23 年や平成 24 年のように麦類赤かび病が多発した年でも、小麦、大麦のいずれにおいても、他の年次と比較して検査の実施率は高くなっていなかった。

第3章 麦類由来の遊離型 DON、NIV の推定経口摂取量

農林水産省が策定した指針に基づく麦類中の DON、NIV 汚染の防止・低減対策の効果を検証するとともに、リスク管理における DON、NIV の優先度を検討するため、小麦及び大麦に由来する遊離型の DON、NIV の経口摂取量を推定し、食品安全委員会や JECFA が設定した耐容摂取量等と比較した。

T2、HT2、ZEN については、DON、NIV と比較して小麦及び大麦中の検出率、濃度のいずれも低く、統計学的に信頼性の高いかび毒濃度分布を推定できなかった。そのため、今回はこれらのかび毒の経口摂取量は推定しなかった。

3.1. 経口摂取量の推定に使用したデータ

3.1.1. 麦類中の DON、NIV 濃度

かび毒濃度の年次変動を考慮して、平成 14 年～平成 27 年に採取した小麦及び大麦の乾燥調製後の穀粒（以下「玄麦」という。）中の DON、NIV 濃度を推定に使用した。

我が国の麦類の品目別自給率は低く（小麦 15%、大麦 9%、いずれも平成 27 年度概算値²⁷⁾、消費者が摂取する小麦及び大麦がすべて国産である可能性は低い。しかし、輸入麦については、統計学的に信頼できる点数の DON 又は NIV の濃度データが入手できなかったため、国産の小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度を、日本で流通する小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度とした。

また、3-Ac-DON、15-Ac-DON、4-Ac-NIV は、平成 20 年以降しか分析していない。より長期間の実態調査データに基づいて摂取量を推定するため、ここではアセチル体を含めた総 DON 濃度や総 NIV 濃度ではなく、遊離型としての DON、NIV の濃度を使用した。

3.1.2. 日本人の食品摂取量

平成 17～19 年度厚生労働省委託事業「食品摂取頻度・摂取量調査の特別集計業務」における、40,389 人日分（調査対象者 4,510 人、4 季節×3 日間の最大 12 日間）の食品摂取量データを使用した。

DON は、慢性毒性及び急性毒性を有することが知られており、我が国でも過去に DON、NIV によると示唆される食中毒が発生している。そこで、上記調査における各調査対象者の調査期間を通した 1 日平均摂取量（4,510 人分のデータ）ではなく、1 日単位の食品摂取量（40,389 人日分のデータ）を個別に経口摂取量の推定に使用した。

通常、汚染物質の体重 1 kg 当たりの経口摂取量は、子供の方が大人より多いことが知られている。食品安全委員会及び JECFA による DON のリスク評価においても、同様のことが指摘されている。そこで、本摂取量推定でも、全年齢集団の経口摂取量に加えて、調査時の年齢が 1 歳～6 歳と記録されていた調査対象者の食品摂取量データ（1,618

²⁷⁾ 日本の食料自給率（農林水産省） http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/012.html

人日分)を用いて、未就学児相当の子供の集団(以下「未就学児」という。)の経口摂取量を推定した。

3.1.3. 食品摂取量の玄麦相当摂取量への換算

上記の厚生労働省の委託事業は、生鮮・加工食品のいずれにおいても、食品毎の摂取量を示している。小麦及び大麦の玄麦中のかび毒濃度を用いて、それらの食品からの総経口摂取量を推定するためには、加工食品又は調理食品の摂取量から、それらの原材料である小麦又は大麦の玄麦の摂取量を求める必要がある。

文献や食品事業者からの情報等に基づいて、加工食品及び調理食品の標準的なレシピを作製し、麦類加工品から小麦玄麦又は大麦玄麦への換算係数(例えば、食パンから小麦玄麦への換算係数は0.61、干しうどんから小麦玄麦への換算係数0.865、麦茶(浸出液)から大麦玄麦への換算係数0.033など)を算定した(別添3参照)。

食品摂取量データとこの換算係数を用いて、調査対象者1日当たりの小麦玄麦摂取量及び大麦玄麦摂取量を推定した。

3.1.4. 食品中のDON、NIVの加工・調理による影響

食品の加工・調理によって、玄麦に由来する食品中のDON、NIV濃度が変化する場合には、玄麦中のDON、NIV濃度に加工係数を掛ける必要がある。

穀粒中のDON濃度は、一般的に、表皮や胚芽で高く、胚乳では低い。小麦玄麦中と小麦粉中のDON濃度については複数の報告^{28,29,30,31,32,33}があるが、玄麦中のDON濃度の水準、穀粒へのDON産生菌の侵入の程度、小麦粉の粒径、製粉方法等の要因によって大きなばらつきがある。また、NIV濃度に関する報告は少ない。そこで、今回の摂取量試算では、小麦玄麦から小麦粉への加工によってDON、NIV濃度は変化しないと仮定した。

DONは加熱に対して安定であり、通常の加熱調理ではほとんど分解しないが、DONは水溶性が高く、例えば、煮沸調理では容易に沸騰水中に溶出する。しかし、実際の食品中のDON濃度の製造又は調理工程における変化についての報告があるのは、一部の食品に限られている。また、食品中のNIV濃度の製造又は調理工程における変化に関する報告は少ない。そこで、今回の摂取量試算では、最悪の条件として、食品の加工又は調理により玄麦に由来する食品中のDON、NIV濃度は変化しないと仮定した。

²⁸ 熊谷進：小麦玄麦と小麦粉におけるDONとNIVの汚染実態，平成14年度厚生労働科学特別研究 小麦等のデオキシニバレノールに係る規格基準設定のための緊急調査研究(主任研究者：熊谷進)，厚生労働省 2003

²⁹ Thammawong, Manasikan, et al. "Distribution of deoxynivalenol and nivalenol in milling fractions from Fusarium-infected Japanese wheat cultivars." *Journal of Food Protection* 73.10 (2010): 1817-1823.

³⁰ Thammawong, Manasikan, et al. "Distinct distribution of deoxynivalenol, nivalenol, and ergosterol in Fusarium-infected Japanese soft red winter wheat milling fractions." *Mycopathologia* 172.4 (2011): 323-330.

³¹ Zheng, Yazhi, et al. "Effect of milling on the content of deoxynivalenol, nivalenol, and zearalenone in Japanese wheat." *Food Control* 40 (2014): 193-197.

³² Hossen, Sharif Md, et al. "Distribution of nivalenol in milling fractions of severely Fusarium-infected Japanese soft winter wheat grains." *Mycotoxins* 62.2 (2012): 77-82.

³³ Kushiro, Masayo. "Effects of milling and cooking processes on the deoxynivalenol content in wheat." *International Journal of Molecular Sciences* 9.11 (2008): 2127-2145.

3.2. 経口暴露量の推定手順

3.2.1. 経口摂取量の計算方法

次の手順で経口摂取量を計算した。

- ① 食品摂取量データから、ある調査対象者のある 1 日を無作為に選択する。
- ② 選択した調査対象者の 1 日の実際の食品摂取量から算出した小麦又は大麦の摂取量に、DON 又は NIV の濃度分布モデルから無作為に選んだ小麦又は大麦中の DON 又は NIV 濃度を掛けて、小麦由来及び大麦由来の DON 及び NIV の経口摂取量を算定する。小麦及び大麦に由来する DON 又は NIV の経口摂取量をそれぞれ合計し、当該調査対象者の 1 日の DON 又は NIV の長期経口摂取量とする。
- ③ 当該調査対象者の実体重で割って、ある日本人の 1 日における体重 1 kg 当たりの DON 長期経口摂取量、NIV 長期経口摂取量を推定する。
- ④ これらの一連の計算をコンピュータ上で 100 万回繰り返し、DON、NIV の推定長期経口摂取量の分布を推定する。
- ⑤ 農薬の国際的な短期経口暴露評価³⁴における Case 3 式（穀類や乳等を含む、大量に処理されたり、混合されたりする農産物の評価の場合に使用）を使用して、短期経口摂取量も推定した。

3.2.2. 小麦及び大麦の DON、NIV 濃度分布のモデル化

DON、NIV の実態調査データから濃度分布モデルを推定するにあたり、LOQ 又は LOD 未満の測定値の取扱いを検討するため、

- ① LOQ 未満の値をすべて 0 と仮定した場合
- ② LOD 未満の値を LOD 値、LOD 以上 LOQ 未満の値を LOQ 値と仮定した場合
- ③ LOQ 未満の値をすべて LOQ 値と仮定した場合

の 3 種類のデータセットを作成して評価した。

@RISK（米国 Palisade Corporation 製）を使用し、各データセットから DON、NIV 濃度分布のモデル式を推定した。この結果、小麦及び大麦中の DON 濃度分布は、対数正規分布、指数分布、逆ガウス分布（ワルド分布）、ピアソン 5 型分布に近似できた。

ヒストグラム及び分布曲線の形状の一致、PP プロット（probability-probability plot）、QQ プロット（quantile-quantile plot）、AIC（Akaike Information Criterion）等を参考に、各分布モデルと実データの適合性を評価した。その結果、小麦、大麦の DON、NIV のいずれにおいても、②の LOD 未満の値を LOD 値、LOD 以上 LOQ 未満の値を LOQ 値と仮定した場合のデータセットを使用した、逆ガウス分布モデルの適合性が最も高いと判断し、かび毒濃度分布モデルに採用した。

³⁴ IESTI: International Estimate of Short-Term Intake

3.3. DON、NIV の経口摂取量の推定結果

長期暴露評価では、国際的に指標として利用されている推定経口摂取量の 95 パーセンタイル値を求めた。また、DON については、短期暴露評価のため、想定しうる 1 日の最大経口摂取量として、推定経口摂取量の 99 パーセンタイル値を求めた。DON、NIV の経口摂取量の推定結果を表 3-1 に示した。

食品安全委員会は、耐容一日摂取量 (TDI) を DON については 1 µg/kg 体重 (不確実係数: 100)、NIV については 0.4 µg/kg 体重 (不確実係数: 1,000) と設定³⁵した。

一方、JECFA は、DON、3-Ac-DON、15-Ac-DON を含むグループの暫定最大耐容一日摂取量 (PMTDI) を 1 µg/kg 体重、グループの急性参照量 (ARfD) を 8 µg/kg 体重/日と設定³⁶した。

推定経口摂取量をこれらのリスク評価機関が設定した指標値と比較した。

3.3.1. DON の推定経口摂取量

DON の平均推定経口摂取量 (長期・短期暴露とも) は、全年齢集団では 0.11 µg/kg 体重/日、未就学児では 0.20 µg/kg 体重/日であり、食品安全委員会が設定した TDI よりも低かった。

DON の推定経口摂取量の 95 パーセンタイル値は、全年齢集団では 0.45 µg/kg 体重/日、未就学児では 0.85 µg/kg 体重/日であり、いずれも食品安全委員会が設定した TDI よりも低かったが、未就学児では TDI に近い値であった。

DON の推定経口摂取量の 99 パーセンタイル値は、全年齢集団では 1.4 µg/kg 体重/日、未就学児では 2.4 µg/kg 体重/日であり、いずれも JECFA が設定したグループ ARfD よりも低かった。

未就学児の DON の推定経口摂取量は、平均値、高パーセンタイル値のいずれにおいても、全年齢集団よりも 2 倍程度高い値となった。これは、食品安全委員会や JECFA によるリスク評価結果の報告と類似している。

表 3-1 DON、NIV の推定経口摂取量

かび毒	集団	推定経口摂取量 (µg/kg 体重/日)				
		平均値	中央値	90 パーセンタイル値	95 パーセンタイル値	99 パーセンタイル値
DON	全年齢	0.11	0.023	0.23	0.45	1.4
	未就学児	0.20	0.053	0.47	0.85	2.4
NIV	全年齢	0.065	0.015	0.15	0.27	-
	未就学児	0.12	0.035	0.28	0.50	-

³⁵ かび毒評価書 デオキシニバレノール及びニバレノール (食品安全委員会, 2010)

³⁶ WHO Technical Report Series 959 EVALUATION OF CERTAIN CONTAMINANTS IN FOOD
Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (WHO, 2011)

3.3.2. NIV の推定経口摂取量

NIV の平均推定経口摂取量は、全年齢集団では 0.065 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日、未就学児では 0.12 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日であり、食品安全委員会が設定した TDI よりも低かった。

NIV の推定経口摂取量の 95 パーセンタイル値は、全年齢集団では 0.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日で食品安全委員会が設定した TDI よりも低かったが、未就学児は 0.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重となり TDI よりもわずかに高かった。

未就学児の NIV の推定経口摂取量は、平均値、高パーセンタイル値のいずれにおいても、全年齢集団よりも 2 倍程度高い値となった。これは、食品安全委員会によるリスク評価結果の報告³⁵とも類似している。

3.4. 本推定結果を利用する際の留意点（経口摂取量の推定の“不確実性”分析）

使用したデータの“不確実性”や不備、統計解析手法の特性等から、DON、NIV の経口摂取量が過大又は過小推定となる可能性について、以下のとおり考察した。

3.4.1. 麦類中の DON、NIV 濃度データの“不確実性”

- 小麦中の DON 濃度は、暫定基準値（1.1 mg/kg 以下）を満たすように選別・調製が行われているため、小麦ではこの水準を大きく超える濃度データはなかった。規格や基準値が変更になれば、選別・調製済みの玄麦中の DON、NIV 濃度分布が変わる可能性がある。
- 小麦及び大麦中の DON、NIV 濃度は年によって著しく異なるため、麦類中の DON、NIV 濃度が高い年には、短期経口摂取量は増加する可能性がある。
- DON、NIV の分析は、平成 14 年～平成 19 年は LC-MS 法、平成 20 年～平成 27 年は GC-MS 法を採用した。各分析法の妥当性を単一試験所で確認したが、GC-MS 法の DON、NIV の標準添加回収率は 1 mg/kg 濃度付近で 70%程度と LC-MS 法と比較してやや低かった。測定値は回収率によって調整しなかったが、もし測定値に負のバイアスがあった場合は、経口摂取量は過小推定となる可能性がある。
- 輸入の小麦、大麦中の DON、NIV 濃度は、国産の小麦及び大麦と同程度と仮定して試算した。実際の輸入麦類中の DON、NIV 濃度が国産麦類と有意に異なる場合には、今回の経口摂取量は過小又は過大推定となる。
- 今回は過小評価にならないよう、DON、NIV 濃度データが LOD 未満の場合には LOD 値、LOD 以上 LOQ 未満の場合には LOQ 値として、かび毒の濃度分布を推定した。LOQ 未満の値をどのように取り扱うのかによって、かび毒濃度の分布モデルが変わり、これにより推定経口摂取量に変化しうる。特に、本調査結果のように LOQ 未満のデータ数が多い場合には、推定経口摂取量に大きな違いが出る可能性がある。
- JECFA は、グループ PMTDI 及びグループ ARfD を設定しているが、今回は遊離型の DON 単独の経口摂取量を推定した。この推定では、リスクを過小評価する可能性がある。ただし、国産の小麦及び大麦中の DON のアセチル体濃度は、最大でも遊離

型の DON 濃度の 5 分の 1 程度であった (1.3.参照) ため、過小評価があったとしても、その程度は大きくないと推察できる。

- 今回の推計では、小麦玄麦から小麦粉への DON、NIV 濃度の換算係数を 1 とした。外皮や胚芽の DON、NIV 濃度が胚乳よりも高ければ、外皮や胚芽を除いた小麦粉中の濃度の換算係数は 1 未満となるため、今回の経口摂取量は過大推定である可能性が高い。なお、外皮や胚芽の配合割合を増やした小麦粉もあるため、換算係数が 1 より高い可能性は完全には排除できないが、そのような製品は一般的ではない。
- 今回の推計では、玄麦に由来する食品中の DON、NIV 濃度は、加工調理で変化しないと仮定した。しかし、煮沸調理によって食品中の DON の溶出・消失等が報告されており、今回の経口摂取量は過大推定となっている可能性が高い。

3.4.2. 食品摂取量データの“不確実性”

- 今回の摂取量推定では、1 日単位の食品摂取量を個別に使用した。長期暴露の推定に、複数日の食品摂取量から求めた 1 日の平均食品摂取量を使用すれば、食品摂取量データの分散が小さくなり、推定経口摂取量の高パーセンタイル値は小さくなる。
- 加工食品等の実際のレシピは多様であり、玄麦使用量を過大又は過小に換算している可能性がある。
- 今回の推計では、小麦及び大麦に由来する DON、NIV の経口摂取量を求めた。食品安全委員会は、我が国では小麦が DON 及び NIV の摂取に寄与する主要な食品と考えられるとした³⁵。しかし、トウモロコシ、エン麦、ライ麦、小豆等にも DON が含まれることが報告^{37, 38}されており、それらの食品由来の DON 及び NIV 摂取を加えていないため、全ての食品由来の総経口摂取量はより大きい可能性がある。ただし、トウモロコシ、エン麦、ライ麦、小豆等の日本人の摂取量は小麦と比較して小さく、DON、NIV 濃度も小麦、大麦と比較して高くない。そのため、全食品由来の総経口摂取量と小麦及び大麦由来の経口摂取量の差は、大きくないと推察できる。
- 食品摂取量調査で対象とした 1 歳～6 歳児は 227 人と少ない。このため、日本における未就学児の食品摂取パターンを適切に反映していない可能性がある。

3.4.3. 統計解析手法の“不確実性”

DON、NIV 濃度の分布モデルによって、推定される経口摂取量の分布は異なり、特に 99 パーセンタイル以上の値は、大きな影響を受ける。モデル化する統計分布が実際の濃度分布よりも裾が右側に長い場合は、経口摂取量は過大推定となる。

3.5. DON、NIV の経口摂取による健康リスクに関する考察

DON の経口摂取量については、全年齢集団、未就学児のいずれにおいても、平均値、95 パーセンタイル値は食品安全委員会が設定した TDI より低く、また、99 パーセンタ

³⁷ Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2011)

³⁸ 農林水産省、国産小豆及びいんげんのフザリウム毒素含有実態調査、第 79 回日本マイコトキシン学会学術講演会 (2016)

イル値は JECFA が設定した ARfD より低いことから、日本人において、通常の食生活において、小麦及び大麦由来食品からの DON の経口摂取により、健康影響が生じる可能性は低い。

NIV の経口摂取量については、全年齢集団における平均値、95 パーセンタイル値は食品安全委員会が設定した TDI より低いことから、通常の食生活において、小麦及び大麦由来食品からの NIV の経口摂取により、健康影響が生じる可能性は低い。未就学児における 95 パーセンタイル値は、食品安全委員会が設定した TDI よりわずかに高い値となった。ただし、以下の理由から、未就学児においても、通常の食生活において、小麦及び大麦由来の NIV の経口摂取により、健康影響が生じる可能性は低いと考えられる。

- NIV の推定経口摂取量は TDI をわずかに超えているだけである。
- 1 日単位の経口摂取量が TDI を超える可能性はあるが、継続して TDI を超える量の NIV を摂取し続ける可能性は、確率論的に低い。
- 食品安全委員会は、NIV の TDI 設定に当たって毒性データが不十分であるため不確実係数:1,000 を使用しており、これは DON の TDI の不確実係数:100 と比較して大きい。なお、欧州食品安全機関 (EFSA)^{39, 40}は、2013 年に NIV の TDI を 1.2 µg/kg 体重 (不確実係数: 300) と設定し、2017 年にこの TDI の維持を決定しているが、今回の NIV の推定摂取量はそれと比べて低い。

未就学児における DON、NIV の経口摂取量は、食品安全委員会が設定した TDI と比較して十分に小さいとは言えないことから、子供の DON、NIV 摂取量をより低く抑えるため、小麦及び大麦の生産段階で指針に基づく DON 及び NIV による汚染の防止・低減対策を継続して実施する必要がある。

³⁹ EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2013. Scientific Opinion on risks for animal and public health related to the presence of nivalenol in food and feed. EFSA Journal 2013;11(6):3262.

⁴⁰ EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2017. Scientific Opinion on the appropriateness to set a group health based guidance value for nivalenol and its modified forms. EFSA Journal 2017;15(4):4751

第4章 まとめと今後の対応

4.1. まとめ

第1章～第3章の解析結果から得られた主な知見を以下にまとめた。

- 国産の小麦及び大麦（いずれも乾燥調製後の穀粒。以下同じ。）に含まれる DON 及び NIV は、T2、HT2 及び ZEN より含有濃度の平均値や高パーセンタイル値が高かった。大麦中の DON 及び NIV 濃度は、小麦中の濃度よりも高い傾向にあった。小麦では、DON の暫定基準値（1.1 mg/kg）を超えたのは、総計 1998 点の試料のうち平成 14 年の 6 点のみで、平成 15 年以降ではなかった。
- 小麦及び大麦に含まれる DON 及び NIV 濃度には、生産年によって著しい変動があった。また、生産年ごとの麦類赤かび病の発生面積と小麦及び大麦に含まれる DON 及び NIV の平均濃度とには、強い正の相関があった。すなわち、赤かび病発生面積が大きかった年には、発生面積が小さかった年と比較して、より高濃度に DON 又は NIV を含む試料が多かった。これらは、赤かび病の発生面積が大きい年には、外見上は健全な穀粒中の DON 及び NIV 濃度が高くなることが要因と推察される。このことは、赤かび病の予防対策の実施が、小麦及び大麦中の DON 及び NIV 濃度の抑制に重要であることを示している。
- *Fusarium* が DON を生合成する際の前駆体である 3-Ac-DON 及び 15-Ac-DON 並びに NIV を生合成する際の前駆体である 4-Ac-NIV の濃度は、遊離型の DON 又は NIV の濃度と比較して低く、収穫期の小麦及び大麦中の DON 及び NIV は、主として遊離型として存在し、アセチル体は少なかった。なお、国産の小麦及び大麦から検出される DON 前駆体は、主に 3-Ac-DON であり、15-Ac-DON は少なかった。
- 小麦及び大麦のいずれにおいても、DON と NIV が共に穀粒から検出される地域と、DON のみが検出される地域があった。NIV 濃度が、DON 濃度よりも 2 倍程度高い地域があった。
- 小麦及び大麦のいずれにおいても、赤かび病抵抗性が強い品種群と弱い品種群とでは、DON 及び NIV 濃度に有意な差はなかった。品種による栽培地域、栽培方法、気象状況等の差異が小麦及び大麦中の DON 及び NIV 濃度に大きく影響したためと推察される。
- 小麦及び大麦の試料採取地点のうち 9 割以上の地点において、指針で推奨している赤かび病防除のために農薬散布が実施されていた。また、DON 汚染の防止・抑制効果が高いとされる農薬の使用割合が高かった。小麦は、大麦よりも複数回の農薬散布が行われていた地点の割合が高かった。
- 小麦及び大麦のいずれにおいても、乾燥調製施設において粒厚選別が実施されており、加えて比重選別や色彩選別が実施されていたものもあった。これらの指針で推奨している選別によって、小麦及び大麦中の DON 及び NIV 濃度の低減効果が認められた。ただし、選別によって除去された細麦・屑麦中の DON 及び NIV 濃度は高い傾向に

あったので、それらを食品原料や飼料として利用する場合には、基準値への適合等を確認する必要がある。

- 指針で推奨している DON 検査の実施率は、小麦において高く、大麦においては低い傾向にあった。また、地域によって DON 検査の実施率が異なっていた。
- 本調査結果を用いて、小麦及び大麦に由来する、食品からの日本人における 1 日当たりの DON 又は NIV の経口摂取量を推定した。全年齢集団では、DON、NIV の推定摂取量のいずれも、平均値、95 パーセンタイル値は食品安全委員会が設定した TDI より低かった。未就学児では、DON、NIV の推定摂取量のいずれも、平均値や高パーセンタイル値が全年齢集団よりも 2 倍程度大きく、95 パーセンタイル値は TDI に近い値となった。
- 急性毒性がある DON についての 1 日当たりの経口摂取量は、全年齢集団及び未就学児のいずれの推定摂取量の 99 パーセンタイル値においても、JECFA が設定した ARfD より低かった。
- 子供の DON、NIV 摂取量をより低く抑えるために、小麦及び大麦の生産段階で指針に基づく DON 及び NIV 汚染の防止・低減対策を適切にとる必要がある。なお、小麦及び大麦の生産段階で適切に DON 及び NIV 汚染の防止・抑制対策が講じられていれば、通常の食生活において、小麦及び大麦由来の食品中の DON 又は NIV の摂取による健康への悪影響の可能性は低いと考えられる。

4.2. 今後の対応

- 気象状況によっては赤かび病が発生し、麦類中の DON・NIV 濃度が大きく上昇する可能性があるため、引き続き、麦類（主として小麦及び大麦）の生産段階における DON 及び NIV による汚染の防止・抑制・低減対策の普及に努める。
- 生産段階における麦類の安全性の向上のための取組に関して、関係者の更なる意識向上を図るため、今回の実態調査で得られた知見に基づいて、国産の小麦及び大麦の生産関係者と意見・情報の交換を実施する。
- 本調査の解析結果及び試験研究の成果等の科学的知見に基づいて、指針や技術情報を改訂し、赤かび病の発生及び DON・NIV 汚染の防止・抑制効果の高い対策の一層の普及を、関係者と連携・協力して進める。
- 国産の小麦及び大麦について、DON、NIV 等のフザリウム毒素の含有実態調査を継続する。一定期間ごとに調査結果を集計・解析し、対策の効果や気候変動の影響を検証する。
- 現時点では、小麦及び大麦からの検出率が低く、かつ、含有濃度も低かった T2、HT2、ZEN 等については、国内においては小麦及び大麦を汚染する可能性が低いことを確認するため、産生菌や汚染要因の調査を必要に応じて実施する。

謝辞

本調査の実施にあたり、多くの方にご協力をいただきました。ここに、心より感謝の意を表します。

本調査の計画・実施、分析結果の評価・解析及び公表資料の作成にあたっては、元・農林水産省技術総括審議官の山田友紀子博士に多大なご指導、ご助言をいただきました。厚く御礼を申し上げます。

調査試料のご提供、対策の実施状況の聞き取りにご協力をいただいた全国の麦類の生産者及び生産者団体の皆様にも、厚く御礼を申し上げます。

関連情報

食品のかび毒に関する情報

http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/

本調査結果に関する問い合わせ先 農林水産省 消費・安全局 農産安全管理課 生産安全班 電話：03-3592-0306

平成14年～平成27年の国産麦類中のフザリウム毒素実態調査結果一覧（通常調査）

○ DON

品目	調査年	調査 点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界 未満の点数		定量限界 以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
					割合					
小麦(玄麦)	14	199	0.05	118	59%	81	2.1	0.16	0.19	-
	15	213	0.05	136	64%	77	0.58	0.067	0.099	-
	16	226	0.05	145	64%	81	0.93	0.044	0.063	-
	17	200	0.004 - 0.010	108	54%	92	0.23	0.016	0.018	-
	18	100	0.006 - 0.010	13	13%	87	0.88	0.13	0.13	0.042
	19	100	0.009	43	43%	57	0.29	0.021	0.024	0.010
	20	120	0.004 - 0.013	39	33%	81	0.46	0.031	0.034	0.014
	21	120	0.0018 - 0.007	37	31%	83	0.49	0.045	0.046	0.0094
	22	120	0.0020 - 0.005	16	13%	104	0.54	0.059	0.059	0.031
	23	120	0.003	16	13%	104	0.53	0.059	0.060	0.033
	24	120	0.0022 - 0.008	11	9%	109	0.79	0.067	0.067	0.017
	25	120	0.0021	34	28%	86	0.48	0.015	0.015	0.0056
	26	120	0.003	42	35%	78	0.14	0.014	0.015	0.006
	27	120	0.003	48	40%	72	0.33	0.035	0.036	0.005
14-27	1998	0.0018-0.05	806	40%	1,192	2.1	0.057	0.066	0.0081	
大麦(玄麦)	14	50	0.05	28	56%	22	4.8	0.26	0.29	-
	15	54	0.05	34	63%	20	3.7	0.29	0.32	-
	16	56	0.05	23	41%	33	1.8	0.24	0.26	0.090
	17	50	0.004 - 0.010	20	40%	30	0.46	0.058	0.061	0.011
	18	10	0.006 - 0.010	0	0%	10	2.5	0.55	0.55	0.37
	19	10	0.007	3	30%	7	0.32	0.063	0.064	0.016
	20	100	0.006 - 0.007	22	22%	78	0.56	0.032	0.033	0.015
	21	100	0.0020 - 0.007	37	37%	63	0.23	0.019	0.021	0.008
	22	100	0.003 - 0.004	2	2%	98	0.50	0.078	0.078	0.041
	23	100	0.004 - 0.008	18	18%	82	1.0	0.11	0.11	0.071
	24	100	0.0025 - 0.005	3	3%	97	1.5	0.16	0.16	0.078
	25	100	0.0022	23	23%	77	0.12	0.013	0.013	0.0063
	26	99	0.003	40	40%	59	0.22	0.011	0.011	0.004
	27	100	0.003	37	37%	63	0.37	0.052	0.053	0.007
14-27	1029	0.0020-0.05	290	28%	739	4.8	0.096	0.10	0.015	

○ 3-Ac-DON

品目	調査年	調査 点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界 未満の点数		定量限界 以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
					割合					
小麦(玄麦)	20	120	0.005 - 0.016	114	95%	6	0.018	0.00050	0.0045	-
	21	120	0.0020 - 0.007	100	83%	20	0.018	0.0011	0.0028	-
	22	120	0.0015 - 0.007	95	79%	25	0.019	0.0015	0.0034	-
	23	120	0.003 - 0.004	83	69%	37	0.017	0.0021	0.0034	-
	24	120	0.005 - 0.006	104	87%	16	0.033	0.0020	0.0045	-
	25	120	0.003	109	91%	11	0.025	0.00079	0.0021	-
	26	120	0.005	117	98%	3	0.006	0.00013	0.0024	-
	27	120	0.005	107	89%	13	0.017	0.0011	0.0033	-
20-27	960	0.0015-0.016	829	86%	131	0.033	0.0011	0.0033	-	
大麦(玄麦)	20	100	0.003 - 0.008	81	81%	19	0.053	0.0029	0.0062	-
	21	100	0.003 - 0.010	92	92%	8	0.034	0.0011	0.0047	-
	22	100	0.0020 - 0.008	46	46%	54	0.052	0.0097	0.012	0.0041
	23	100	0.003 - 0.009	42	42%	58	0.076	0.013	0.014	0.009
	24	100	0.004 - 0.007	38	38%	62	0.13	0.023	0.024	0.014
	25	100	0.0024	56	56%	44	0.020	0.0027	0.0036	-
	26	99	0.005	90	91%	9	0.030	0.0010	0.0034	-
	27	100	0.005	65	65%	35	0.053	0.0063	0.0077	-
20-27	799	0.0020-0.010	510	64%	289	0.13	0.0074	0.0095	-	

○ 15-Ac-DON

品目	調査年	調査 点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界 未満の点数		定量限界 以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
					割合					
小麦(玄麦)	20	120	0.0025 - 0.008	120	100%	0	<0.008	0	0.0019	-
	21	120	0.0012 - 0.008	113	94%	7	0.0044	0.00013	0.0018	-
	22	120	0.0010 - 0.005	111	93%	9	0.0043	0.00013	0.0012	-
	23	120	0.0024	118	98%	2	0.0027	0.000043	0.00096	-
	24	120	0.0021 - 0.003	118	98%	2	0.0063	0.000077	0.00095	-
	25	120	0.0020	120	100%	0	<0.0020	0	0.00074	-
	26	120	0.003	120	100%	0	<0.003	0	0.0010	-
	27	120	0.003	120	100%	0	<0.003	0	0.0010	-
20-27	960	0.0010-0.008	940	98%	20	0.0063	0.000048	0.0012	-	
大麦(玄麦)	20	100	0.0022 - 0.007	92	92%	8	0.0088	0.00034	0.0021	-
	21	100	0.0014 - 0.007	93	93%	7	0.006	0.00023	0.0021	-
	22	100	0.0010 - 0.004	86	86%	14	0.023	0.0010	0.0028	-
	23	100	0.0020 - 0.003	91	91%	9	0.036	0.00090	0.0020	-
	24	100	0.0021 - 0.004	89	89%	11	0.014	0.00081	0.0029	-
	25	100	0.0025	100	100%	0	<0.0025	0	0.0010	-
	26	99	0.003	97	98%	2	0.005	0.000091	0.0011	-
	27	100	0.003	100	100%	0	<0.003	0	0.0012	-
20-27	799	0.0010-0.007	748	94%	51	0.036	0.00042	0.0019	-	

○ NIV

品目	調査年	調査 点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界 未満の点数		定量限界 以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
					割合					
小麦(玄麦)	14	199	0.05	130	65%	69	0.64	0.059	0.092	-
	15	213	0.05	144	68%	69	0.55	0.040	0.073	-
	16	226	0.024	118	52%	108	0.55	0.033	0.041	-
	17	200	0.004 - 0.006	96	48%	104	0.20	0.0088	0.010	0.005
	18	100	0.006 - 0.007	29	29%	71	1.0	0.086	0.087	0.024
	19	100	0.005 - 0.006	57	57%	43	0.21	0.012	0.014	-
	20	120	0.005 - 0.013	66	55%	54	0.34	0.019	0.022	-
	21	120	0.003 - 0.010	70	58%	50	0.15	0.012	0.014	-
	22	120	0.004 - 0.006	45	38%	75	0.31	0.026	0.027	0.010
	23	120	0.004	44	37%	76	0.52	0.043	0.045	0.011
	24	120	0.004 - 0.009	33	28%	87	0.45	0.039	0.040	0.017
	25	120	0.005	65	54%	55	0.084	0.0065	0.0085	-
	26	120	0.005	83	69%	37	0.11	0.0048	0.0071	-
	27	120	0.005	70	58%	50	0.088	0.011	0.013	-
14-27	1998	0.003-0.05	1050	53%	948	1.0	0.029	0.038	-	
大麦(玄麦)	14	50	0.05	22	44%	28	1.2	0.16	0.18	0.07
	15	54	0.05	23	43%	31	0.95	0.13	0.15	0.07
	16	56	0.024	14	25%	42	1.2	0.20	0.20	0.14
	17	50	0.004 - 0.006	14	28%	36	0.38	0.041	0.042	0.017
	18	10	0.006 - 0.007	1	10%	9	3.0	0.58	0.58	0.26
	19	10	0.004	3	30%	7	0.33	0.050	0.051	0.011
	20	100	0.009 - 0.014	45	45%	55	0.58	0.042	0.046	0.014
	21	100	0.010	58	58%	42	0.26	0.018	0.022	-
	22	100	0.004 - 0.008	10	10%	90	0.55	0.085	0.085	0.040
	23	100	0.004 - 0.008	15	15%	85	0.48	0.082	0.082	0.032
	24	100	0.004 - 0.006	2	2%	98	2.3	0.13	0.13	0.078
	25	100	0.004	23	23%	77	0.089	0.014	0.015	0.010
	26	99	0.005	44	44%	55	0.26	0.013	0.014	0.005
	27	100	0.005	28	28%	72	0.27	0.025	0.026	0.013
14-27	1029	0.004 - 0.05	302	29%	727	3.0	0.073	0.077	0.018	

○ 4-Ac-NIV

品目	調査年	調査 点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界 未満の点数		定量限界 以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
					割合					
小麦(玄麦)	20	120	0.004 - 0.012	119	99%	1	0.010	0.000083	0.0030	-
	21	120	0.0017 - 0.006	119	99%	1	0.0075	0.000063	0.0013	-
	22	120	0.0016 - 0.005	118	98%	2	0.006	0.000065	0.0014	-
	23	120	0.0025 - 0.003	117	98%	3	0.004	0.000088	0.0012	-
	24	120	0.0020 - 0.004	119	99%	1	0.0022	0.000018	0.0013	-
	25	120	0.0024	120	100%	0	<0.0024	0	0.00080	-
	26	120	0.003	119	99%	1	0.003	0.000025	0.0010	-
	27	120	0.003	120	100%	0	<0.003	0	0.0011	-
20-27	960	0.0016-0.012	951	99%	9	0.010	0.000043	0.0014	-	
大麦(玄麦)	20	100	0.003 - 0.008	86	86%	14	0.066	0.0019	0.0052	-
	21	100	0.0019 - 0.008	97	97%	3	0.027	0.00060	0.0032	-
	22	100	0.0015 - 0.006	60	60%	40	0.042	0.0049	0.0066	-
	23	100	0.0026 - 0.009	73	73%	27	0.023	0.0031	0.0059	-
	24	100	0.0020 - 0.009	68	68%	32	0.086	0.0052	0.0092	-
	25	100	0.0023	92	92%	8	0.012	0.00049	0.0017	-
	26	99	0.003	88	89%	11	0.030	0.00084	0.0020	-
	27	100	0.003	71	71%	29	0.018	0.0014	0.0025	-
20-27	799	0.0015-0.009	635	79%	164	0.086	0.0023	0.0045	-	

○ T2

品目	調査年	調査 点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界 未満の点数		定量限界 以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
					割合					
小麦(玄麦)	23	120	0.0008	112	93%	8	0.0064	0.00015	0.00047	-
	24	120	0.0008	110	92%	10	0.0060	0.00015	0.00047	-
	25	120	0.0009	110	92%	10	0.0031	0.00015	0.00049	-
	26	120	0.0010	117	98%	3	0.018	0.00024	0.00060	-
	27	120	0.0010	117	98%	3	0.0037	0.000074	0.00041	-
	23-27	600	0.0008-0.0010	566	94%	34	0.018	0.00015	0.00049	-
大麦(玄麦)	23	100	0.0007	89	89%	11	0.016	0.00040	0.00073	-
	24	100	0.0006 - 0.0007	94	94%	6	0.0024	0.000086	0.00035	-
	25	100	0.0005	90	90%	10	0.018	0.00042	0.00063	-
	26	99	0.0010	94	95%	5	0.017	0.00027	0.00057	-
	27	100	0.0010	93	93%	7	0.0065	0.00025	0.00057	-
	23-27	499	0.0005-0.0010	460	92%	39	0.018	0.00029	0.00057	-

○ HT2

品目	調査年	調査 点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界 未満の点数		定量限界 以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
					割合					
小麦(玄麦)	23	120	0.0007 - 0.0008	102	85%	18	0.011	0.00066	0.00096	-
	24	120	0.0007 - 0.0009	104	87%	16	0.012	0.00035	0.00070	-
	25	120	0.0009	92	77%	28	0.029	0.0011	0.0014	-
	26	120	0.0010	100	83%	20	0.069	0.0016	0.0019	-
	27	120	0.0010	104	87%	16	0.0092	0.00041	0.00079	-
	23-27	600	0.0007-0.0010	502	84%	98	0.069	0.00082	0.0012	-
大麦(玄麦)	23	100	0.0005 - 0.0010	87	87%	13	0.0095	0.00039	0.00084	-
	24	100	0.0006 - 0.0010	91	91%	9	0.0077	0.00025	0.00059	-
	25	100	0.0008	92	92%	8	0.039	0.0011	0.0014	-
	26	99	0.0010	93	94%	6	0.11	0.0016	0.0020	-
	27	100	0.0010	93	93%	7	0.017	0.00047	0.00085	-
	23-27	499	0.0005-0.0010	456	91%	43	0.11	0.00075	0.0011	-

○ ZEN

品目	調査年	調査 点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界 未満の点数		定量限界 以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
					割合					
小麦(玄麦)	17	100	0.005 - 0.012	96	96%	4	0.051	0.00068	0.0037	-
	18	100	0.004 - 0.005	82	82%	18	0.44	0.011	0.013	-
	19	100	0.0016 - 0.005	95	95%	5	0.097	0.0015	0.0026	-
	20	120	0.0008 - 0.0024	95	79%	25	0.17	0.0030	0.0036	-
	21	120	0.0008 - 0.0017	84	70%	36	0.13	0.0026	0.0030	-
	22	120	0.0008 - 0.0021	77	64%	43	0.038	0.0024	0.0029	-
	23	120	0.0010 - 0.0012	74	62%	46	0.026	0.0021	0.0024	-
	24	120	0.0005 - 0.0006	92	77%	28	0.068	0.0016	0.0018	-
	25	120	0.0008	98	82%	22	0.013	0.00064	0.00095	-
	26	120	0.0010	108	90%	12	0.027	0.00063	0.0011	-
	27	120	0.0010	107	89%	13	0.037	0.00066	0.0011	-
17-27	1260	0.0005-0.012	1008	80%	252	0.44	0.0023	0.0031	-	
大麦(玄麦)	21	100	0.0010 - 0.0014	90	90%	10	0.041	0.00088	0.0013	-
	22	100	0.0007 - 0.0021	55	55%	45	0.034	0.0024	0.0028	-
	23	100	0.0010 - 0.0014	40	40%	60	0.14	0.010	0.011	0.0029
	24	100	0.0006 - 0.0009	77	77%	23	0.21	0.0050	0.0053	-
	25	100	0.0009	94	94%	6	0.013	0.00027	0.00058	-
	26	99	0.0010	91	92%	8	0.23	0.0032	0.0036	-
	27	100	0.0010	88	88%	12	0.090	0.0011	0.0015	-
	21-27	699	0.0006-0.0021	535	77%	164	0.23	0.0033	0.0037	-

平成26年・平成27年の国産麦類中のフザリウム毒素実態調査結果一覧（追加調査）

○ DON

品目	調査年	調査点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界未満の点数		定量限界以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
				割合						
小麦(玄麦)	26	7	0.003	0	0%	7	0.58	0.39	0.39	0.40
	27	24	0.003	0	0%	24	0.47	0.15	0.15	0.13
大麦(玄麦)	27	7	0.003	0	0%	7	0.34	0.16	0.16	0.14

○ 3-Ac-DON

品目	調査年	調査点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界未満の点数		定量限界以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
				割合						
小麦(玄麦)	26	7	0.005	1	14%	6	0.035	0.019	0.019	0.022
	27	24	0.005	8	33%	16	0.025	0.0065	0.0078	0.0060
大麦(玄麦)	27	7	0.005	0	0%	7	0.032	0.018	0.018	0.021

○ 15-Ac-DON

品目	調査年	調査点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界未満の点数		定量限界以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
				割合						
小麦(玄麦)	26	7	0.003	5	71%	2	0.003	0.00086	0.0030	-
	27	24	0.003	23	96%	1	0.003	0.00013	0.0012	-
大麦(玄麦)	27	7	0.003	7	100%	0	<0.003	0	0.0010	-

○ NIV

品目	調査年	調査点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界未満の点数		定量限界以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
				割合						
小麦(玄麦)	26	7	0.005	0	0%	7	0.34	0.19	0.19	0.16
	27	24	0.005	0	0%	24	0.27	0.065	0.065	0.044
大麦(玄麦)	27	7	0.005	0	0%	7	0.37	0.090	0.090	0.043

○ 4-Ac-NIV

品目	調査年	調査点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界未満の点数		定量限界以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
				割合						
小麦(玄麦)	26	7	0.003	5	71%	2	0.005	0.0011	0.0024	-
	27	24	0.003	23	96%	1	0.003	0.00013	0.0015	-
大麦(玄麦)	27	7	0.003	1	14%	6	0.010	0.0039	0.0040	0.003

○ T2

品目	調査年	調査点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界未満の点数		定量限界以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
				割合						
小麦(玄麦)	26	7	0.0010	7	100%	0	<0.0010	0	0.00030	-
	27	24	0.0010	24	100%	0	<0.0010	0	0.00030	-
大麦(玄麦)	27	7	0.0010	7	100%	0	<0.0010	0	0.00030	-

○ HT2

品目	調査年	調査点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界未満の点数		定量限界以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
				割合						
小麦(玄麦)	26	7	0.0010	7	100%	0	<0.0010	0	0.00057	-
	27	24	0.0010	24	100%	0	<0.0010	0	0.00045	-
大麦(玄麦)	27	7	0.0010	7	100%	0	<0.0010	0	0.00040	-

○ ZEN

品目	調査年	調査点数	定量限界 (mg/kg)	定量限界未満の点数		定量限界以上の点数	最大値 (mg/kg)	平均値 LB (mg/kg)	平均値 UB (mg/kg)	中央値 (mg/kg)
				割合						
小麦(玄麦)	26	7	0.0010	0	0%	7	0.026	0.011	0.011	0.0086
	27	24	0.0010	13	54%	11	0.0050	0.00097	0.0013	-
大麦(玄麦)	27	7	0.0010	4	57%	3	0.024	0.0037	0.0041	-

平成 24 年～平成 27 年の国産麦類中のフザリウム毒素含有実態調査の方法

1. サンプルング

通常調査

平成 24 年～平成 27 年の概ね 6 月から 12 月までの間に、共同又は個人の乾燥調製施設、農業倉庫において、乾燥・調製¹された小麦、大麦の穀粒（いわゆる玄麦。）を採取した。ロットの大きさに応じた数の一次試料を採取²し、これを混合したもの約 1～2 kg を分析用試料とした。

小麦の調査計画点数は各年 120 点とし、国内生産量の最も多い北海道に 3 割を配分し、残りの 7 割を小麦の生産量に応じて各県に比例配分した。大麦の調査計画点数は各年 100 点とし、大麦生産量に応じて各道県に比例配分した。

追加調査

平成 26 年及び平成 27 年は、都道府県が公表している病害虫の発生状況等から、麦類赤かび病の発生が平年よりも多い等の情報が得られた地域において、赤かび病発生時のかび毒汚染実態を詳細に把握するため、通常調査の点数に追加して、通常調査と同様の方法で小麦又は大麦試料を採取した。

2. 分析対象のフザリウム毒素

以下のフザリウム毒素³を対象に、分析を行った。

- デオキシニバレノール（略称：DON）
- 3-アセチルデオキシニバレノール（略称：3-Ac-DON）
- 15-アセチルデオキシニバレノール（略称：15-Ac-DON）
- ニバレノール（略称：NIV）
- 4-アセチルニバレノール（略称：4-Ac-NIV、別称：フザレノン X）
- T-2 トキシン（略称：T2）
- HT-2 トキシン（略称：HT2）
- ゼアラレノン（略称：ZEN）

3. 試料点数

各調査年の品目別の試料点数（実績）を表 1 に示した。

¹ 品位が劣る穀粒、被害粒、異種穀粒、異物等を選別・除去済みのもの。

² General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CODEX STAN 193-1995, p34-36) . Sampling Plans and Performance Criteria for Deoxynivalenol (DON) in Cereal-Based Foods for Infants and Young Children; in Flour, Meal, Semolina and Flakes Derived from Wheat, Maize or Barley; and in Cereal Grains (Wheat, Maize and Barley) Destined for Further Processing.の方法による。

³ 平成 27 年は、デオキシニバレノール-3-グルコシド及びジアセトキシシルペノールについても分析を行ったが、現時点では 1 年分のデータしか得られていないことから、今回の報告からは除外した。

表 1 各調査年の試料点数（実績）

調査年	試料点数			
	小麦		大麦	
	通常調査	追加調査	通常調査	追加調査
平成 24 年	120	-	100	-
平成 25 年	120	-	100	-
平成 26 年	120	7	99	-
平成 27 年	120	24	100	7

4. 分析方法の概要

(1) 分析用試料の調製

分析用試料の全量を、0.50 mm 径の梯（てい）型穴ふるいリングを装着したローターミルで粉碎し、よく混合した。

(2) 分析法の概要

かび毒の種類に応じて以下の 2 種類の分析法で定量した。それぞれの分析法の詳細は別紙に示した。

DON、NIV とそのアセチル体

粉碎した分析用試料 25 g を秤量し、アセトニトリル-水（84+16）混液で抽出し、多機能ミニカラムで精製した。*N*-トリメチルシリルイミダゾール-*N,O*-ビス（トリメチルシリル）アセトアミド-トリメチルクロロシラン（3+3+2）混液を用いてトリメチルシリル化した DON、3-Ac-DON、15-Ac-DON、NIV 及び 4-Ac-NIV を、ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）で定量した。

その他のかび毒

粉碎した分析用試料 10 g を秤量し、アセトニトリル-水（80+20）混液で抽出し、オクタデシルシリル化ゲル系固相抽出カラム及び多機能ミニカラムで精製した。高速液体クロマトグラフ-タンデム質量分析計（LC-MS/MS）で、T-2、HT-2 及び ZEN を定量した。

(3) 分析機関

適切な精度管理を実施し、信頼性の高い品質保証体制が整備されていることを確認した上で、独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC）で分析を実施した。平成 24 年は 3 つの試験所（本報告では試験所 A、B、C とする。以下同じ。）で、平成 25 年～平成 27 年は 1 つの試験所（試験所 A）で実施した。

(4) 分析法の検出限界及び定量限界

各分析法について、低濃度の分析対象かび毒を含む試料を 21 回繰り返し測定して得られた測定値の標準偏差の 3.29 倍となる試料中のかび毒濃度を検出限界 (LOD) と、標準偏差の 10 倍となる試料中のかび毒濃度を定量限界 (LOQ) とした。各かび毒の検出限界、定量限界は表 3 に示した。

表 3 検出限界及び定量限界 (mg/kg)

かび毒	品目		平成 24 年	平成 25 年	平成 26 年	平成 27 年
DON	小麦	検出限界	0.0007-0.003	0.0007	0.001	0.001
		定量限界	0.0022-0.008	0.0021	0.003	0.003
	大麦	検出限界	0.0009-0.002	0.0008	0.001	0.001
		定量限界	0.0025-0.005	0.0022	0.003	0.003
3-Ac-DON	小麦	検出限界	0.002-0.003	0.001	0.002	0.002
		定量限界	0.005-0.006	0.003	0.005	0.005
	大麦	検出限界	0.002-0.003	0.0008	0.002	0.002
		定量限界	0.004-0.007	0.0024	0.005	0.005
15-Ac-DON	小麦	検出限界	0.0007-0.001	0.0007	0.001	0.001
		定量限界	0.0021-0.003	0.0020	0.003	0.003
	大麦	検出限界	0.0007-0.002	0.0009	0.001	0.001
		定量限界	0.0021-0.004	0.0025	0.003	0.003
NIV	小麦	検出限界	0.002-0.003	0.002	0.002	0.002
		定量限界	0.004-0.009	0.005	0.005	0.005
	大麦	検出限界	0.002	0.002	0.002	0.002
		定量限界	0.004-0.006	0.004	0.005	0.005
4-Ac-NIV	小麦	検出限界	0.0007-0.002	0.0008	0.001	0.001
		定量限界	0.0020-0.004	0.0024	0.003	0.003
	大麦	検出限界	0.0007-0.003	0.0008	0.001	0.001
		定量限界	0.0020-0.009	0.0023	0.003	0.003
ZEN	小麦	検出限界	0.0002	0.0003	0.0004	0.0004
		定量限界	0.0005-0.0006	0.0008	0.0010	0.0010
	大麦	検出限界	0.0002-0.0004	0.0003	0.0004	0.0004
		定量限界	0.0006-0.0009	0.0009	0.0010	0.0010
T2	小麦	検出限界	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
		定量限界	0.0008	0.0009	0.0010	0.0010
	大麦	検出限界	0.0002-0.0003	0.0002	0.0003	0.0003
		定量限界	0.0006-0.0007	0.0005	0.0010	0.0010
HT2	小麦	検出限界	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004
		定量限界	0.0007-0.0009	0.0009	0.0010	0.0010
	大麦	検出限界	0.0002-0.0004	0.0003	0.0004	0.0004
		定量限界	0.0006-0.0010	0.0008	0.0010	0.0010

(5) 添加回収率

異なる 2 種類 (LOQ 付近と検量線の間濃度付近等) の添加濃度となるように各調査対象かび毒の標準液を小麦、大麦にそれぞれ 3 回添加し、その平均添加回収率及び相対標準偏差 (RSD) を求めた。

各分析法による各かび毒の添加回収率は、10 µg/kg 以下では 60~120% の範囲、10~100 µg/kg では 72~115% の範囲、100~1000 µg/kg では 71~118% の範囲であった。100~1000 µg/kg において一部のかび毒の回収率がやや低かったが許容できる範囲と判断した。各かび毒の添加回収率は表 4 に示した。

なお、本報告の分析値は、回収率による調整を行っていない。

表 4 各かび毒の平均添加回収率

平成 24 年

かび毒	品目	試験所	添加濃度 (mg/kg)	試験回数	平均添加回収率 (%)	RSD (%)	
DON	小麦	試験所 A	0.01-0.02	3	76	3.8	
			0.2	3	73	2.8	
		試験所 C	0.01-0.02	3	77	5.8	
			0.2	3	76	2.8	
	大麦	試験所 A	0.01-0.02	3	81	5.0	
			0.2	3	71	1.6	
		試験所 B	0.01-0.02	3	103	5.3	
			0.2	3	86	7.7	
	試験所 C	0.01-0.02	3	76	4.8		
		0.2	3	73	3.2		
	3-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.01-0.02	3	107	2.4
				0.2	3	81	1.4
試験所 C			0.01-0.02	3	85	5.3	
			0.2	3	79	1.9	
大麦		試験所 A	0.01-0.02	3	110	1.1	
			0.2	3	80	2.2	
		試験所 B	0.01-0.02	3	100	7.7	
			0.2	3	90	6.1	
試験所 C		0.01-0.02	3	91	6.5		
		0.2	3	77	1.8		
15-Ac-DON		小麦	試験所 A	0.01-0.02	3	94	3.8
				0.2	3	77	1.4
	試験所 C		0.01-0.02	3	91	1.4	
			0.2	3	80	2.3	
	大麦	試験所 A	0.01-0.02	3	103	2.2	
			0.2	3	76	3.8	
		試験所 B	0.01-0.02	3	74	3.3	
			0.2	3	80	2.5	
	試験所 C	0.01-0.02	3	88	2.0		
		0.2	3	75	3.3		

平成 24 年（続き）

かび毒	品目	試験所	添加濃度 (mg/kg)	試験 回数	平均添加 回収率(%)	RSD(%)
NIV	小麦	試験所 A	0.01-0.02	3	80	2.4
			0.2	3	72	0.9
		試験所 C	0.01-0.02	3	72	2.0
			0.2	3	76	1.7
	大麦	試験所 A	0.01-0.02	3	92	0.7
			0.2	3	74	3.0
		試験所 B	0.01-0.02	3	102	5.3
			0.2	3	76	1.0
		試験所 C	0.01-0.02	3	83	2.0
0.2	3	79	2.8			
4-Ac-NIV	小麦	試験所 A	0.01-0.02	3	87	4.4
			0.2	3	81	1.6
		試験所 C	0.01-0.02	3	92	2.3
			0.2	3	85	1.0
	大麦	試験所 A	0.01-0.02	3	100	1.7
			0.2	3	81	1.5
		試験所 B	0.01-0.02	3	104	4.8
			0.2	3	93	4.9
		試験所 C	0.01-0.02	3	101	2.4
			0.2	3	84	1.5
T2	小麦	試験所 A	0.001-0.002	3	94	3.9
			0.2	3	100	5.9
		試験所 C	0.001-0.002	3	99	14
			0.2	3	109	1.0
	大麦	試験所 A	0.001-0.002	3	86	3.1
			0.2	3	109	6.0
		試験所 B	0.001-0.002	3	79	7.5
			0.2	3	99	1.0
		試験所 C	0.001-0.002	3	83	7.6
			0.2	3	98	10
HT2	小麦	試験所 A	0.001-0.002	3	100	5.7
			0.2	3	102	1.3
		試験所 C	0.001-0.002	3	112	6.2
			0.2	3	112	2.3
	大麦	試験所 A	0.001-0.002	3	73	0.8
			0.2	3	91	1.9
		試験所 B	0.001-0.002	3	110	7.1
			0.2	3	118	1.1
		試験所 C	0.001-0.002	3	108	11
			0.2	3	87	8.9
ZEN	小麦	試験所 A	0.001-0.002	3	88	3.4
			0.2	3	97	0.9
		試験所 C	0.001-0.002	3	116	3.2
			0.2	3	108	3.9
	大麦	試験所 A	0.001-0.002	3	71	1.2
			0.2	3	96	0.9
		試験所 B	0.001-0.002	3	111	2.2
			0.2	3	107	4.9
		試験所 C	0.001-0.002	3	104	10
			0.2	3	111	3.7

平成 25 年

かび毒	品目	試験所	添加濃度 (mg/kg)	試験 回数	平均添加 回収率(%)	RSD(%)
DON	小麦	試験所 A	0.002	3	89	2.8
			1	3	95	9.4
	大麦	試験所 A	0.002	3	76	4.8
			1	3	90	5.3
3-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.002	3	85	4.1
			1	3	80	2.9
	大麦	試験所 A	0.002	3	91	7.1
			1	3	87	2.9
15-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.002	3	65	3.1
			1	3	74	3.1
	大麦	試験所 A	0.002	3	97	2.6
			1	3	77	1.5
NIV	小麦	試験所 A	0.004	3	107	5.6
			1	3	78	4.3
	大麦	試験所 A	0.004	3	74	5.1
			1	3	74	5.8
4-Ac-NIV	小麦	試験所 A	0.002	3	105	3.4
			0.5	3	77	1.7
	大麦	試験所 A	0.002	3	105	3.1
			0.5	3	87	4.4
T2	小麦	試験所 A	0.001	3	101	1.4
			0.02	3	109	3.0
	大麦	試験所 A	0.001	3	72	3.5
			0.02	3	82	3.4
HT2	小麦	試験所 A	0.001	3	112	5.2
			0.02	3	104	2.0
	大麦	試験所 A	0.001	3	89	5.2
			0.02	3	86	4.3
ZEN	小麦	試験所 A	0.001	3	78	8.0
			0.02	3	92	1.0
	大麦	試験所 A	0.001	3	79	6.5
			0.02	3	103	8.7

平成 26 年

かび毒	品目	試験所	添加濃度 (mg/kg)	試験 回数	平均添加 回収率(%)	RSD(%)
DON	小麦	試験所 A	0.005	3	84	3.9
			0.1	3	96	1.5
	大麦	試験所 A	0.005	3	75	16
			0.1	3	89	9.1
3-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.005	3	106	4.9
			0.1	3	103	0.7
	大麦	試験所 A	0.005	3	101	1.9
			0.1	3	96	0.1
15-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.005	3	60	0.2
			0.1	3	90	4.2
	大麦	試験所 A	0.005	3	60	0.9
			0.1	3	86	0.6
NIV	小麦	試験所 A	0.005	3	64	4.8
			0.1	3	76	2.5
	大麦	試験所 A	0.005	3	97	7.9
			0.1	3	80	2.7
4-Ac-NIV	小麦	試験所 A	0.005	3	95	1.7
			0.1	3	101	2.5
	大麦	試験所 A	0.005	3	102	4.7
			0.1	3	101	2.3
T2	小麦	試験所 A	0.001	3	76	8.0
			0.02	3	85	3.0
	大麦	試験所 A	0.001	3	61	4.9
			0.02	3	73	6.7
HT2	小麦	試験所 A	0.001	3	120	6.7
			0.02	3	115	3.3
	大麦	試験所 A	0.001	3	96	6.0
			0.02	3	109	0.8
ZEN	小麦	試験所 A	0.001	3	96	7.0
			0.02	3	94	1.3
	大麦	試験所 A	0.001	3	81	2.6
			0.02	3	75	4.3

平成 27 年

かび毒	品目	試験所	添加濃度 (mg/kg)	試験 回数	平均添加 回収率(%)	RSD(%)
DON	小麦	試験所 A	0.005	3	88	4.3
			0.1	3	80	0.1
	大麦	試験所 A	0.005	3	87	3.9
			0.1	3	79	2.3
3-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.005	3	101	1.3
			0.1	3	91	1.0
	大麦	試験所 A	0.005	3	89	6.9
			0.1	3	91	3.8
15-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.005	3	85	3.4
			0.1	3	79	1.1
	大麦	試験所 A	0.005	3	83	3.9
			0.1	3	79	1.8
NIV	小麦	試験所 A	0.005	3	82	5.3
			0.1	3	74	1.4
	大麦	試験所 A	0.005	3	85	2.1
			0.1	3	75	2.2
4-Ac-NIV	小麦	試験所 A	0.005	3	101	1.5
			0.1	3	94	0.5
	大麦	試験所 A	0.005	3	104	1.6
			0.1	3	96	2.8
T2	小麦	試験所 A	0.001	3	109	3.1
			0.02	3	107	2.4
	大麦	試験所 A	0.001	3	96	8.3
			0.02	3	75	3.1
HT2	小麦	試験所 A	0.001	3	109	3.8
			0.02	3	114	1.0
	大麦	試験所 A	0.001	3	99	2.8
			0.02	3	110	2.0
ZEN	小麦	試験所 A	0.001	3	110	2.0
			0.02	3	113	0.7
	大麦	試験所 A	0.001	3	103	2.8
			0.02	3	103	1.3

(6) 測定の“不確かさ”

各かび毒について、あらかじめ異なる2種類の濃度(LOQ付近と検量線の間濃度付近等)となる試料を調製し、その試料について異なる3日間にそれぞれ7点又は8点の併行試験を行い、その室内再現相対標準偏差(RSDi)を算出し、測定の不確かさを求めた。

各分析法による各かび毒のRSDiは21%以下であり、許容できる値であった。詳細は表5に示した。

表 5 各かび毒の測定の不確かさ

平成 25 年

かび毒	品目	試験所	試料濃度(mg/kg)	RSDi (%)
DON	小麦	試験所 A	0.002	9.8
			1	9.0
	大麦	試験所 A	0.002	7.9
			1	5.2
3-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.002	9.8
			1	2.7
	大麦	試験所 A	0.002	11
			1	6.8
15-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.002	5.3
			1	4.4
	大麦	試験所 A	0.002	20
			1	12
NIV	小麦	試験所 A	0.004	17
			1	5.5
	大麦	試験所 A	0.004	12
			1	6.7
4-Ac-NIV	小麦	試験所 A	0.002	5.4
			0.5	4.5
	大麦	試験所 A	0.002	8.6
			0.5	6.7
T2	小麦	試験所 A	0.001	14
			0.02	4.8
	大麦	試験所 A	0.001	13
			0.02	8.2
HT2	小麦	試験所 A	0.001	8.7
			0.02	6.7
	大麦	試験所 A	0.001	10
			0.02	7.2
ZEN	小麦	試験所 A	0.001	12
			0.02	8.5
	大麦	試験所 A	0.001	14
			0.02	8.1

平成 26 年

かび毒	品目	試験所	試料濃度 (mg/kg)	RSDi (%)
DON	小麦	試験所 A	0.003	11
			1	7.8
	大麦	試験所 A	0.003	6.7
			1	5.8
3-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.005	4.7
			0.5	1.8
	大麦	試験所 A	0.005	17
			0.5	3.8
15-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.003	14
			0.5	3.5
	大麦	試験所 A	0.003	19
			0.5	8.5
NIV	小麦	試験所 A	0.005	11
			1	5.3
	大麦	試験所 A	0.005	11
			1	11
4-Ac-NIV	小麦	試験所 A	0.003	6.4
			0.5	5.9
	大麦	試験所 A	0.003	8.1
			0.5	2.1
T2	小麦	試験所 A	0.002	20
			0.05	13
	大麦	試験所 A	0.002	21
			0.05	18
HT2	小麦	試験所 A	0.002	10
			0.05	16
	大麦	試験所 A	0.002	12
			0.05	20
ZEN	小麦	試験所 A	0.002	15
			0.05	9.2
	大麦	試験所 A	0.002	14
			0.05	5.8

平成 27 年

かび毒	品目	試験所	試料濃度 (mg/kg)	RSDi (%)
DON	小麦	試験所 A	0.005	15
			0.8	3.2
	大麦	試験所 A	0.005	9.7
			0.8	4.2
3-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.005	5.1
			0.4	3.5
	大麦	試験所 A	0.005	8.0
			0.4	3.7
15-Ac-DON	小麦	試験所 A	0.005	4.0
			0.4	4.9
	大麦	試験所 A	0.005	4.9
			0.4	4.6
NIV	小麦	試験所 A	0.005	9.8
			0.8	4.7
	大麦	試験所 A	0.005	7.6
			0.8	5.3
4-Ac-NIV	小麦	試験所 A	0.005	4.5
			0.4	5.5
	大麦	試験所 A	0.005	4.2
			0.4	3.9
T2	小麦	試験所 A	0.002	9.0
			0.05	6.8
	大麦	試験所 A	0.002	17
			0.05	10
HT2	小麦	試験所 A	0.002	8.0
			0.05	2.7
	大麦	試験所 A	0.002	9.4
			0.05	4.5
ZEN	小麦	試験所 A	0.002	9.5
			0.05	2.8
	大麦	試験所 A	0.002	7.2
			0.05	13

かび毒の分析法

1. 分析用試料の調製

試験室試料 1 検体の全量を、0.50 mm 径の梯型穴ふるいリングを装着したローターミル (Variable Speed Rotor Mill PULVERISETTE 14 (Fritsch GmbH 製)) を用いて粉碎し、よく混合し分析用試料とした。

2. DON、3-Ac-DON、15-Ac-DON、NIV 及び 4-Ac-NIV の分析法

分析用試料から 25 g を 200 mL 容量の三角フラスコに秤量し、アセトニトリル-水 (84+16, v/v) 混液 100 mL、内標準物質 (3-アセチル-*d*₃-デオキシニバレノール, 2.5 mg/L) 0.5 mL を加え、60 分間振とう (250-300 回/分) 後、抽出液 20~30 mL を 50 mL 容量の遠沈管に移し、遠心分離 (1000 g, 5 分) した。

遠心分離後の上澄を、多機能ミニカラム (MycoSep #227 (Romer Labs 製)) に負荷し、最初の溶出液 3 mL を廃棄し、続く溶出液 4 mL を試験管に採取し、40 °C 以下で、窒素ガスを吹き付けて乾固した。

試験管内の残留物に、*N,O*-ビス (トリメチルシリル) アセトアミド-トリメチルクロロシラン-*N*-トリメチルシリルイミダゾール (3+2+3) (SUPELCO Sigma-Aldrich 製) 0.1 mL を加え、70 °C で 30 分間静置し、誘導体化反応を行った。試験管を室温まで放冷し、2,2,4-トリメチルペンタン 0.5 mL、水 0.5 mL を加え 5 分間混和し、静置後の上層を試料溶液とした。試料溶液 2 µL を、GC-MS に供し、誘導体化した DON、3-Ac-DON、15-Ac-DON、NIV 及び 4-Ac-NIV を定量した。GC-MS の条件は、のとおり。

表 1 GC-MS の測定条件

機種	GCMS-QP2010 Ultra (島津製作所) 又は 5973 A/N MSD (Agilent Technology Inc.)
カラム	Rxi-35Sil MS (Restek) 又は J&W DB-35 (Agilent Technology Inc.) 0.25 mm i.d.×30 m, 膜厚 0.25 μm
注入方法	スプリットレス
温度	試料注入口 250 °C カラム 80 °C (1 min) → 20 °C/min 昇温 → 180°C → 5°C/min 昇温 → 300 °C (10min)
ガス流量	ヘリウム 1.0 mL/min
イオン化法	EI イオン源温度: 230 °C イオン化電圧: 70 eV
設定質量数 (m/z)	DON: 422 (定量イオン)、235 (確認イオン) 3-Ac-DON: 392 (定量イオン)、467 (確認イオン) 15-Ac-DON: 392 (定量イオン)、295 (確認イオン) NIV: 379 (定量イオン)、289 (確認イオン) 4-Ac-NIV: 480 (定量イオン)、251 (確認イオン) 内部標準物質: 3-Ac- <i>d</i> ₃ -DON: 395 (定量イオン)

3. T-2、HT-2 及び ZEN の分析法⁴

分析用試料 10 g を 100 mL 容量の抽出用カップに秤量し、内標準液（ベルカロール 2 μg/mL 及びゼアララノン 1 μg/mL アセトニトリル溶液）0.5 mL を加え、冷凍庫 (-20°C 以下) 内で 12 時間以上静置した。

抽出用カップを室温に 30 分以上静置し、アセトニトリル-水 (80+20, v/v) 混液 40 mL、酢酸 0.4 mL を加えて 5 分間静置し、ホモジナイザーで攪拌 (7000 rpm, 5 分) 後に、抽出液を 50 mL 容量の遠沈管に移し、遠心分離 (2000 g, 10 分) した。

遠心分離後の上澄 15 mL をオクタデシルシリル化ゲル系固相抽出カラム (Presep C18 (2 g/15 mL) (和光純薬製)) に負荷して得た溶出液の半量をシリンジで多機能ミニカラム (Bond Elut Mycotoxin Jr (Agilent 製)) に加圧負荷し、最初の溶出液 3 mL を廃棄し、続く溶出液 2 mL を採取し、その 1.6 mL を新たな試験管に採り、40 °C 以下で、窒素ガスを吹き付けて乾固した。試験管内の残留物に、アセトニトリル-水-酢酸 (5+94+1, v/v/v) 混液 0.4 mL を加え、メンブレンフィルター (親水性 PTFE 製, 孔径 0.20 μm) でろ過し、試料溶液とした。

試料溶液 20 μL を、LC-MS/MS に供し、T-2、HT-2 及び ZEN を定量した。LC-MS/MS の条件は、表 2 のとおり。

⁴ Harmonized collaborative validation of a simultaneous and multiple determination method for nivalenol, deoxynivalenol, T-2 toxin, HT-2 toxin and zearalenone in wheat and barley by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) (Nakagawa, et al. Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques, 2014, S6:002)

表 2 LC-MS/MS の測定条件

機種	LC: Alliance 2795 (Waters) MS/MS: Quattro Premier XE (Waters)
HPLC カラム	Zorbax Eclipse XDB-C18(Agilent Technology Inc.) 3.0 mm i.d.×250 mm, 粒径 5 μm
カラム温度	40 °C
移動相	Solvent A: 0.5 mM 酢酸アンモニウム水溶液(0.1 %酢酸含有) Solvent B: アセトニトリル(0.1 %酢酸含有) グラジエント条件 0 min A/B (90/10)→1 min A/B (90/10)→15 min A/B(10/90) →18 min A/B (10/90)→19 min A/B (90/10)→23 min A/B(90/10)
流量	0.3 mL/min
MS/MS	イオン化法: ESI(ポジティブ、ネガティブ) コーン電圧: 24 V(T-2 (ポジティブ)) 24 V(HT-2 (ネガティブ)) 54 V(ZEN (ネガティブ)) 10 V(内標準物質 ベルカロール(ポジティブ)) 18 V(内標準物質 ベルカロール(ネガティブ)) 58 V(内標準物質 ゼアララノン(ネガティブ)) コリジョンエネルギー: 16 eV(T-2 (ポジティブ)) 14 eV(HT-2 (ネガティブ)) 28 eV(ZEN (ネガティブ)) 6 eV(内標準物質 ベルカロール(ポジティブ)) 12e V(内標準物質 ベルカロール(ネガティブ)) 24 eV(内標準物質 ゼアララノン(ネガティブ)) イオン源温度: 120°C 脱溶媒ガス温度: 400°C 脱溶媒ガス流量: 850 L/h
設定質量数 (m/z)	T-2 (ポジティブ):484 > 305 (確認イオン) T-2 (ポジティブ):484 > 215 (定量イオン) HT-2 (ポジティブ) :442 > 263(確認イオン) HT-2 (ポジティブ) :483 > 59 (定量イオン) ZEN (ネガティブ) :317 > 175(確認イオン) ZEN (ネガティブ) :317 > 131(定量イオン) 内標準物質 ベルカロール(ポジティブ):284 > 249 (定量イオン) 内標準物質 ベルカロール(ネガティブ):325 > 59 (定量イオン) 内標準物質 ゼアララノン(ネガティブ):319 > 205 (定量イオン)

麦類加工品から玄麦への換算係数

1. 小麦加工品から小麦（玄麦）への換算係数一覧

食品名	コード番号	換算係数
薄力粉	1015	1
中力粉	1018	1
強力粉	1020	1
全粒粉強力粉	1023	1
ホットケーキミックス粉	1024	0.889
天ぷら粉	1025	0.862
食パン	1026	0.61
コッペパン	1028	0.63
乾パン	1030	0.945
フランスパン	1031	0.78
ライ麦パン	1032	0.59
ぶどうパン	1033	0.47
ロールパン	1034	0.693
クロワッサン	1035	0.56
イングリッシュマフィン	1036	0.57
ナン	1037	0.628
生うどん	1038	0.665
ゆでうどん	1039	0.25
干しうどん	1041	0.865
ゆで干しうどん	1042	0.3
乾そうめん・ひやむぎ	1043	0.875
ゆでそうめん・ゆでひやむぎ	1044	0.3
乾手延そうめん・手延ひやむぎ	1045	0.86
ゆで手延そうめん・ゆで手延ひやむぎ	1046	0.3
生中華めん	1047	0.67
ゆで中華めん	1048	0.35
蒸し中華めん	1049	0.46
干し中華めん	1050	0.87
ゆで干し中華めん	1051	0.33
生沖縄そば	1052	0.677
ゆで沖縄そば	1053	0.345
干し沖縄そば	1054	0.863
ゆで干し沖縄そば	1055	0.35

食品名	コード番号	換算係数
インスタントラーメン（油揚げ味付け麺）	1056	0.9
インスタントラーメン（油揚げ麺）	1057	0.8
インスタントラーメン（非油揚げ麺）	1058	0.8
中華カップめん（油揚げ麺）	1059	0.8
焼そばカップめん（油揚げ麺）	1060	0.8
中華カップめん（非油揚げ麺）	1061	0.8
和風カップめん（油揚げ麺）	1062	0.8
マカロニ・スパゲッティ	1063	0.88
ゆでマカロニ・ゆでスパゲッティ	1064	0.35
生麩	1065	0.5
観世ふ、小町ふ	1066	1
板ふ	1067	1
車ふ	1068	1
竹輪ふ	1069	0.5
小麦胚芽	1070	0.964
ぎょうざの皮	1074	0.68
しゅうまいの皮	1075	0.689
ピザクラスト	1076	0.647
生パン粉	1077	0.65
半生パン粉	1078	0.74
乾燥パン粉	1079	0.865
生そば	1127	0.13
ゆでそば	1128	0.06
干しそば	1129	0.173
ゆで干しそば	1130	0.06
オールブラン	1137	0.9
小麦でん粉	2031	1
今川焼	15005	0.41
ういろう	15006	0.18
カステラ	15009	0.2
げっぺい	15020	0.3
桜もち（関東風）	15021	0.13
タルト（生地のみ）	15024	0.5
ちゃつう	15026	0.13
どら焼	15027	0.17
カステラまんじゅう	15029	0.3
くりまんじゅう	15031	0.3

食品名	コード番号	換算係数
とうまんじゅう	15032	0.13
蒸しまんじゅう	15033	0.3
あんまん	15034	0.29
肉まん	15035	0.29
蒸しようかん	15040	0.065
黒かりんとう	15045	0.36
白かりんとう	15046	0.36
炭酸せんべい	15048	0.95
かわらせんべい	15049	0.41
ごま入り南部せんべい	15051	0.9
落花生入り南部せんべい	15052	0.9
中華風クッキー	15054	0.5
衛生ボーロ	15061	0
そばボーロ	15062	0.22
松風	15063	0.7
らくがん	15066	0
麦らくがん	15067	0.8
あんパン	15069	0.31
クリームパン	15070	0.37
ジャムパン	15071	0.39
チョココロネ	15072	0.33
シュークリーム	15073	0.028
スポンジケーキ	15074	0.274
ショートケーキ	15075	0.13
デニッシュペストリー	15076	0.476
イーストドーナツ	15077	0.52
ケーキドーナツ	15078	0.359
パイ皮	15079	0.55
アップルパイ	15080	0.257
ミートパイ	15081	0.27
バターケーキ	15082	0.286
ホットケーキ	15083	0.455
カスタードクリーム入りワッフル(生地のみ)	15084	0.05
ジャム入りワッフル	15085	0.154
ウエハース	15092	0.6
オイルスプレークラッカー	15093	0.64
ソーダクラッカー	15094	0.64

食品名	コード番号	換算係数
サブレ	15095	0.47
パフパイ (フユタージュ)	15096	0.41
ハードビスケット	15097	0.5
ソフトビスケット (クッキー)	15098	0.38
プレッツェル	15099	0.5
ロシアケーキ	15100	0.31
小麦粉あられ	15101	1
成形ポテトチップス	15104	0.1
ベイクドチーズケーキ	19501	0.04
濃口しょうゆ	17007	0.15
うす口しょうゆ	17008	0.15
たまりしょうゆ	17009	0.15
さいしこみしょうゆ	17010	0.25
しろしょうゆ	17011	0.27
ストレートめんつゆ	17029	0.05
三倍濃厚めんつゆ	17030	0.1
甘みそ	17044	0
淡色辛みそ	17045	0
赤色辛みそ	17046	0
麦みそ	17047	0
カレールウ	17051	0.05
ハヤシルウ	17052	0.05
減塩しょうゆ	19101	0.15
減塩みそ	19102	0
栄養素調整食 (クッキータイプ)	19301	0.6
クリームシチュールウ	19403	0.1
レアチーズケーキ	19502	0.02
メロンパン	19507	0.3
インスタントラーメン(油揚げ味付け麺)(汁・残)	19801	0.3
インスタントラーメン (油揚げ麺) (汁・残)	19802	0.3
インスタントラーメン (非油揚げ麺) (汁・残)	19803	0.3
中華カップめん (油揚げ麺) (汁・残)	19804	0.3
中華カップめん (非油揚げ麺) (汁・残)	19805	0.3
和風カップめん (油揚げ麺) (汁・残)	19806	0.3

2. 大麦加工品から大麦（玄麦）への換算係数一覧

食品名	コード番号	換算係数
七分つき押麦（未強化製品）	1005	1
押麦（未強化製品）	1006	1
米粒麦	1007	1
乾大麦めん	1008	0.87
ゆで大麦めん	1009	0.3
麦こがし	1010	1.1
金山寺みそ	4061	0.1
ひしおみそ	4062	0.15
淡色ビール	16006	0.15
黒ビール	16007	0.15
スタウトビール	16008	0.15
発泡酒	16009	0.15
しょうちゅう・35度	16014	0
しょうちゅう・25度	16015	0
麦茶（浸出液）	16055	0.033
麦みそ	17047	0.15
ダイエットビール	19625	0.15

略語及び用語解説

1. 略語

かび毒の名称

DON	: デオキシニバレノール (deoxynivalenol)
3-Ac-DON	: 3-アセチルデオキシニバレノール (3-acetyl-deoxynivalenol)
15-Ac-DON	: 15-アセチルデオキシニバレノール (15-acetyl-deoxynivalenol)
NIV	: ニバレノール (nivalenole)
4-Ac-NIV	: 4-アセチルニバレノール (4-acetyl-nivalenole)
T2	: T-2 トキシン (T-2 toxin)
HT2	: HT-2 トキシン (HT-2 toxin)
ZEN	: ゼアラレノン (zearalenone)

その他

LOD	: 検出限界 (limit of detection)
LOQ	: 定量限界 (limit of quantitation)
TDI	: 耐容一日摂取量 (tolerable daily intake)
ARfD	: 急性参照量 (acute reference dose)
EI	: 電子衝撃イオン化 (electron impact)
ESI	: エレクトロスプレーイオン化 (electrospray ionization)
GC-MS	: ガスクロマトグラフ質量分析計 (gas chromatograph mass spectrometer)
LC-MS	: 高速液体クロマトグラフ質量分析計 (liquid chromatograph mass spectrometer)
LC-MS/MS	: 高速液体クロマトグラフタンデム質量分析計 (liquid chromatograph tandem mass spectrometer)
JECFA	: FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議 (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)
JMPR	: FAO/WHO 合同残留農薬専門家会議 (Joint FAO/WHO Expert Meeting on Pesticide Residues)

2. 用語解説

mg (ミリグラム)

重さの単位で、1 mg (1ミリグラム) は、1,000 分の 1 g を指す。

m (ミリ) は、他の単位の前につけて組み合わせて用いられる用語 (接頭辞) の一つで、1,000 分の 1 を意味する。

μg (マイクログラム)

重さの単位で、1 μg (1マイクログラム) は、100 万分の 1 g を指す。

μ (マイクロ) は、他の単位の前につけて組み合わせて用いられる用語 (接頭辞) の一つで、100 万分の 1 を意味する。

検出限界 (LOD)

分析対象とする化学物質について、存在するかしないかを検出することが可能な最低の濃度。食品の種類、分析対象とする化学物質の種類、採用する分析法によって異なる。

定量限界 (LOQ)

分析対象とする化学物質について、適切な精確さをもって定量できる (具体的な濃度が決められる) 濃度の限界値。ある分析法で定量できる最高の濃度 (定量上限) と、最低の濃度 (定量下限) の二つの意味で使用されることがあるが、本書の中では、定量下限の意味で使用。食品の種類、分析対象とする化学物質の種類、採用する分析法によって異なる。

最大値

複数の試料の分析結果のうち、最も大きかった (濃度が高かった) 値。

平均値

複数の試料の分析結果の算術平均。

本報告では、定量限界未満の数値の取扱いの違いにより、以下の 2 種類の平均値を算出。

平均値 LB (下限: Lower bound) : 定量限界未満の濃度を「0」として算出。

平均値 UB (上限: Upper bound) : 検出限界未満の濃度を検出限界値とし、検出限界以上かつ定量限界未満の濃度を定量限界値として算出。

中央値

複数のデータを、数値が小さい方から順番に並べたときにちょうど中央にくる値。

データが偶数個の場合は、中央に近い二つの値を足して 2 で割った値。

中央値は、50%を超える試料が定量された場合についてのみ記載。

パーセンタイル値

複数のデータを、数値が小さい方から順番に並べたとき、小さい方から何パーセント目にあたるかを示す値。例えば、データが 100 個ある場合、25 パーセンタイル値は小さい方から

25 番目、75 パーセントイル値は小さい方から 75 番目にあたる数値を指す。
中央値は、数値が小さい方から並べたときにちょうど中央にくる値（50 パーセントイル値）に相当する。

耐受一日摂取量（Tolerable Daily Intake : TDI）

長期にわたって摂取することで健康に悪影響を及ぼす可能性がある化学物質について、ヒトが一生にわたって毎日摂取し続けたとしても健康に悪影響を示さないと推定されている体重 1 kg 当たりの一日の最大摂取量。

JECFA では、provisional maximum（暫定的な最大の）をつけた、PMTDI（暫定最大耐受一日摂取量）を使用。

急性参照量（Acute Reference Dose : ARfD）

ヒトの 24 時間又はそれより短時間の経口摂取で健康に悪影響を示さないと推定される体重 1 kg 当たりの最大摂取量。

JECFA（FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議）

FAO と WHO が合同で運営する専門家の会合として、1956 年から活動。FAO、WHO、それらの加盟国及びコーデックス委員会に対する科学的な助言機関として、食品添加物、食品汚染物質、動物用医薬品などの国際的なリスク評価を行っている。

JMPR（FAO/WHO 合同残留農薬専門家会議）

FAO と WHO が合同で運営する専門家の会合として、1963 年から活動。FAO、WHO、それらの加盟国及びコーデックス委員会に対する科学的な助言機関として、農薬の一日摂取許容量（ADI）や食品由来の残留農薬の摂取推定量について科学的評価を行うとともに、コーデックス残留農薬部会が最大残留基準値の検討に資するための残留レベルを算出し、報告している。

添加回収率

添加回収率は、ある試料に既知濃度の分析対象物質を添加したものを測定したときの、添加した量に対する回収された量の比率のこと。

遠心分離

強い遠心力をかけることにより、懸濁液などについて、密度が異なる構成成分に分離・分画する方法。使用する機械を遠心機（遠心分離機）と言う。

ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）

ガスクロマトグラフ（GC）の検出器として質量分析計（MS）を連結させた装置で、気体になりやすい化学物質や高温で気化する化学物質の同定・定量に使用。

高速液体クロマトグラフ質量分析計 (LC-MS)

高速液体クロマトグラフ (HPLC) の検出器として質量分析計 (MS) を連結させた装置で、試料溶液中の化学物質の同定・定量に使用。

高速液体クロマトグラフ-タンデム質量分析計 (LC-MS/MS)

高速液体クロマトグラフ (HPLC) に、検出器として質量分析計 (MS) 2 台を直列に連結させた装置で、試料溶液中の化合物の同定・定量に使用。

HPLC で分離された目的化合物について、1 台目の MS の装置内で試料をイオン化させた後、知りたい質量数のイオンのみを選択して衝突活性化室に導き、キセノンなどの不活性ガスと衝突させ、生じた 2 次的なイオン (プロダクトイオン) を 2 台目の MS で検出する。

カラム

化学物質の分離・精製 (クロマトグラフィー) に使用する器具。

筒状の容器や細いガラス管に固定相 (シリカゲルなど。様々なタイプの充てん剤がある。) を詰め、そこに液体または気体 (移動相) に溶かした混合物を流し、化学物質の種類・構造により、固定相とのくっつきやすさ (親和性) や分子の大きさが異なることを利用して分離する。

内標準物質

内標準物質は、注入誤差や装置のバラツキを確認するために、試料を分析装置に導入する直前に添加する。

検出器の出力が測定時の条件に依存して変動する場合などに、分析目的とする化学物質と性質が良く似た化合物 (重水素化合物や ^{13}C 化合物など) を、試料に一定量添加して分析し、添加した物質による検出器の応答と、分析目的とする化学物質による検出器の応答とを比較して、物質の量を知るという方法をとる場合があり、この試料に添加する物質を内標準物質という。

粒厚選別

ふるいを利用して、厚い穀粒 (充実した穀粒) と薄い穀粒 (未熟な穀粒や病害等の被害を受けた穀粒) を選別する方法。

比重選別

穀粒の比重差を利用して、風や振動により、高比重の穀粒 (充実した穀粒) と低比重の穀粒 (未熟な穀粒や病害等の被害を受けた穀粒) を選別する方法。

色彩選別

着色した穀粒や病害等の被害を受けた穀粒の色合いをカメラにより識別して、健全な穀粒と異なる色調を持つ穀粒を選別する方法。

麦類赤かび病

主にフザリウム属菌が麦類に感染することで発生する麦類の代表的な植物病害であり、「麦の赤かび病菌」は、植物防疫法（昭和 25 年法律第 151 号）における農林水産大臣が指定する有害植物（指定有害動植物）。麦の穂にフザリウム属菌が感染すると、麦粒が肥大しなくなったり、穂全体が枯れたりして、麦の収穫量の低下を引き起こすだけでなく、麦粒に人や家畜の健康に悪影響を及ぼすかび毒（フザリウム毒素）を産生する場合がある。



玄麦

小麦では、脱穀により子実から穎（コメの場合の籾に相当する穀皮）が簡単に剥がれるため、子実のみの状態の穀粒が玄麦と呼ばれる（図 1）。大麦のうち、二条大麦（皮麦）及び六条大麦（皮麦）は、子実と穎が癒着しており、脱穀では剥がれず、穎が付いたままの状態の穀粒が玄麦と呼ばれる（図 2、図 3）。大麦のうち、はだか麦（六条大麦が多い。）は、脱穀により子実から穎が簡単に剥がれ、小麦と同様に子実のみの状態の穀粒が玄麦と呼ばれる（図 4）。



図 1 小麦の玄麦



図 2 二条大麦（皮麦）



図 3 六条大麦（皮麦）



図 4 はだか麦