2022年度Future Dialogue第1回（通算第5回）

じっくり知りたい、ネオニコ系農薬問題の重要論点と日本の農薬規制のあり方

農薬のミツバチへの影響―長期野外実験結果―

金沢大学名誉教授
山田敏郎

主催：一般社団法人アクト・ビヨンド・トラスト（abt） ＆ NPO法人アジア太平洋資料センター（PARC）

開催形式：Zoomによるオンライン方式

2022年7月3日（日）14:00～16:00

ネオニコチノイド系農薬（フィプロニル等を含む）とは

哺乳類への毒性が高い天然物のニコチン、ニコチノイドを模しながら哺乳類への毒性を低減させようとして開発された農薬であり、下記のような特徴を持つ。

【ネオニコチノイドの特徴】水溶性・無味・無臭（昆虫に対して忌避性がなく、むしろ好む傾向）

①長期残効性：分解しにくく、長く（数年）環境中や取り込まれた体内で効力を発揮し続ける
（有機リン系の１週間以内とは大きな違い）

②強い毒性：ＤＤＴの5千から1万倍；有機リン系農薬の４～５倍

③浸透性：植物の細胞内にくまなく取り込まれ（根から実まで）、洗っても落ちない。
水溶性のために環境拡散しやすい

④神経毒性：アセチルコリン受容体に結合して、エセ情報伝達物質として情報を伝達し続け、神経系を狂わせる

⑤哺乳類には優しい？：開発時は哺乳類には優しいとされていた。が、毒性発現のメカニズムから疑問視されている。近年、哺乳類（人を含む）への毒性（特に、慢性毒性）が指摘されている。

（長期残効性、浸透性、強い毒性、神経毒性という特性を持つ**ネオニコチノイドは、食物から毒性を維持したまま摂取される可能性が高く、摂取後も体内に長期間存在し続ける可能性**（神経部位への結合等）**があり、従来の分解しやすい農薬の試験法とは異なり、薬剤の毒性（副作用）評価に準ずる方法で評価すべきではなかろうか？**）

ジノテフラン（スタークル）；　**アセタミプリド**（モスピラン）；　**イミダクロプリド**（アドマイヤー）；　**クロチアニジン**（ダントツ）；　**チアメトキサム**（アクタラ）：　**チアクロプリド**（カリプソ）；　**ニテンピラム**（ベストガード）；　**フィプロニル**（ベストガード）　ほか

ネオニコチノイド系農薬（フィプロニル等を含む）とは

【ネオニコチノイド系農薬（ネオニコ）の特徴】水溶性・無味・無臭

①長期残効性：長く（数年）効力を発揮し続ける
（有機リン系は１週間以内で分解）

②強い毒性：ＤＤＴの5千から1万倍；有機リン系農薬の４～５倍

③浸透性：植物の細胞内にくまなく取り込まれ（根から実まで）、
洗っても落ちない

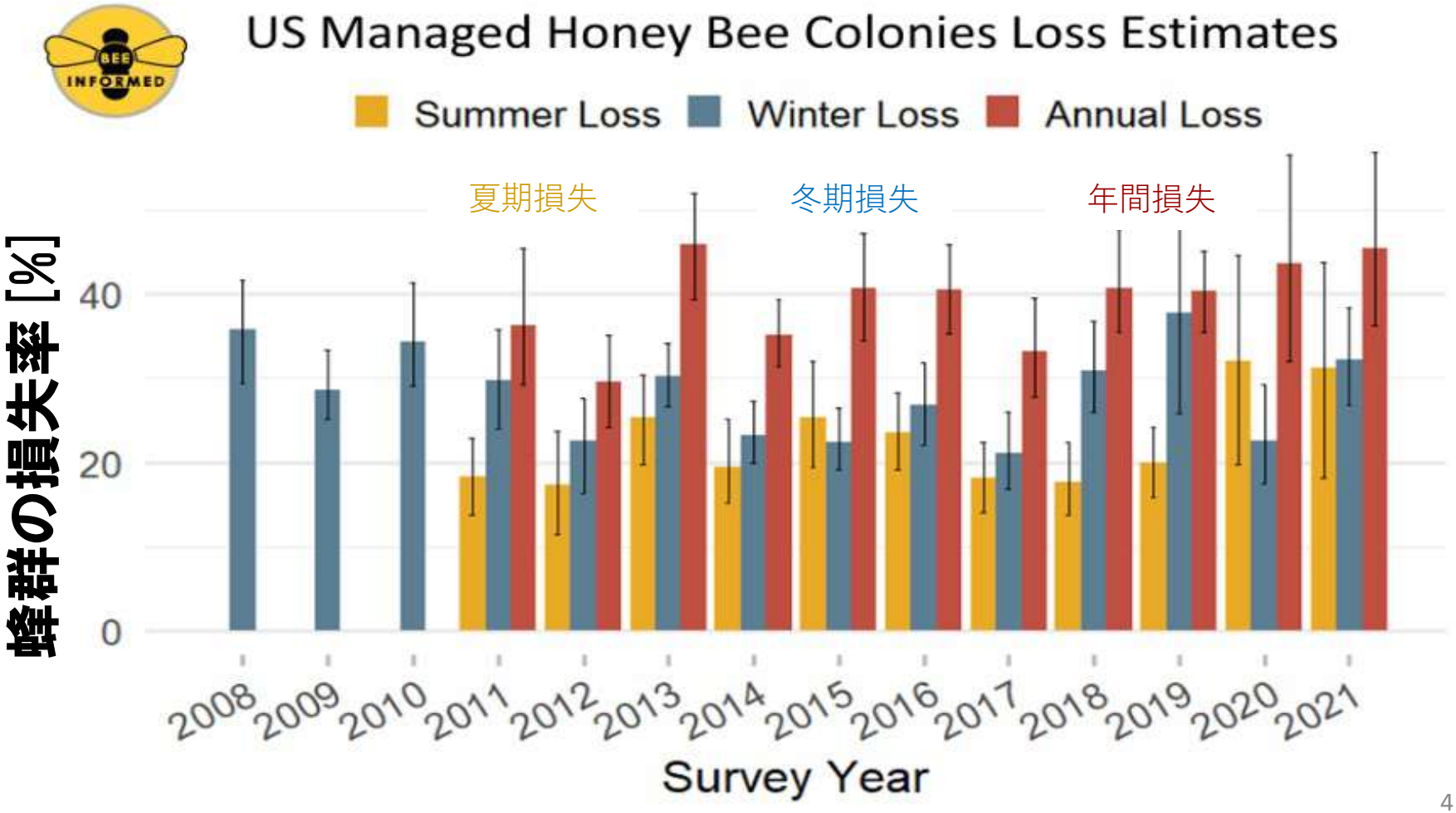
④神経毒性：エセ情報伝達物質として情報を伝達し続け、神経系を狂わせる

United States Honey Bee Colony Losses 2020-2021: Preliminary Results

https://beeinformed.org/2021/06/21/united-states-honey-bee-colony-losses-2020-2021-preliminary-results

米国での蜂群損失率（許容損失率: 15% - 20%）

蜂群の損失率は非常に高く、採算レベル(15～20%)の2～3倍



蜂群崩壊症候群（Colony Collapse Disorder: CCD）

ミツバチの生理現象（分蜂、逃去等）では説明できない
飼育されているミツバチが突然、大量に姿を消す現象

1．女王蜂は僅かな働き蜂とともに残っている。

2．封蓋蜂児（孵化前の幼虫）が存在したまま、蜂がいなくなる。
（通常、蜂児が全て孵るまで巣を放棄しない）

3．食料（蜂蜜や花粉）は備蓄されている。
1）これらはすぐには他のミツバチに奪われることがない。
2）スムシ（ハチノスツズリガの幼虫）のような蜂の巣を襲う害虫からの攻撃が著しく遅くなる。

4．成蜂の急激な減少にも拘わらず、周囲には死蜂が殆ど見られない。

蜂群崩壊症候群（Colony Collapse Disorder: CCD）

ミツバチの生理現象（分蜂、逃去等）では説明できない、
ミツバチが大量に姿を消す現象

1．女王蜂は僅かな働き蜂とともに残っている。

2．さなぎ（封蓋蜂児）が存在したまま、蜂がいなくなる。

3．食料（蜂蜜や花粉）は備蓄されている。

4．周囲には死蜂が殆ど見られない。

ネオニコチノイド系農薬のミツバチへの影響に関する長期野外実験

6回の長期野外実験の総日数：1426日／観察実験：１～２週間毎

2010年度： 2010年7月18日～ 2010年11月21日（126日）石川県志賀町
ネオニコの蜂群への影響（CCDとの関連性）

2011年度： 2011年7月9日～ 2012年4月2日（269日）石川県志賀町
農薬の摂取経路の蜂群への影響

2012年度： 2012年6月28日～ 2013年7月26日（381日）石川県志賀町
ネオニコと有機リンとの蜂群への影響

2013年度： 2013年8月13日～ 2014年2月28日（199日）石川県志賀町
極低レベルでのネオニコと有機リンの蜂群への影響

2014年度： 2014年10月23日～ 2015年7月20日（271日）ハワイ/マウイ島
ダニの居ないマウイ島での農薬の蜂群への影響

2018年度： 2018年6月19日～ 2018年 12月16日（180日）石川県志賀町
ネオニコ入り花粉ペースト投与群のサイズとダニ有病率の季節変化

実験室実験（閉鎖系）
- 実験環境管理容易
- ミツバチの行動管理容易
- ミツバチの実験条件管理容易
- 実験変数の正確な測定容易
- 実際の養蜂現場での現象推定（生態学的妥当性把握）は困難
- 実験費用や労力は比較的少

野外実験（開放系）
- 実験環境管理困難
- ミツバチの行動管理困難
- ミツバチの実験条件管理困難
- 実験変数の正確な測定困難
- 実際の養蜂現場での現象推定（生態学的妥当性把握）は可能
- 実験費用や労力は多

ネオニコチノイド系農薬のミツバチへの影響に関する長期野外実験

6回の長期野外実験の総日数：1426日／観察実験：１～２週間毎

実際の養蜂場でのCCDの再現実験のために

6回の長期野外実験（4ヵ月/回～13ヵ月）

（観察測定:1～2週間毎）（延べ実験日数:1426日）

実験場風景（石川県志賀町）

無農薬の採餌場（実験場内）
ヘアリーベッチ、からし菜、果樹等

野外実験における無農薬環境の整備

General view

Enlarged view

ミツバチの採餌活動開始前の夜明け直後から、撮影開始

Adult bees on a comb

成蜂数（巣碑上）

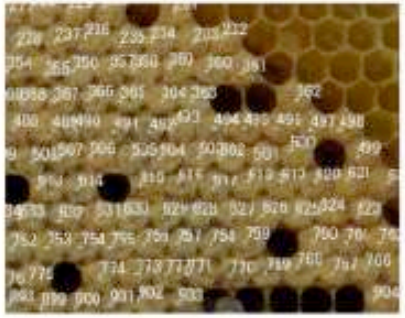
Adult bees in a hive

成蜂数（巣箱内）

（巣箱内＝4×巣箱壁＋巣箱底）

成蜂数＝巣碑上数＋巣箱内数

Capped brood on a comb



さなぎ（封蓋蜂児）数

（巣碑上の成蜂を除去後、撮影）

成蜂数＆さなぎ（封蓋蜂児）数の測定例　（画像処理ソフト開発➡　概算数算出
➡　画像拡大して、目視修正（重複、見落とし等））

巣箱内のすべてのミツバチ＆幼虫の写真撮影

⇩

画像処理ソフトを開発

⇩

成蜂数＆さなぎ（封蓋蜂児）数を自動計数

⇩

画像を拡大して、手動で修正（ミツバチの重なり、不鮮明な画像等）

（画像を拡大して、ダニの有無も確認）

2010年度：2010年7月18日～ 2010年11月21日（126日）石川県志賀町

ネオニコチノイド農薬（以後、ネオニコ）の蜂群への影響（CCDとの関連性）

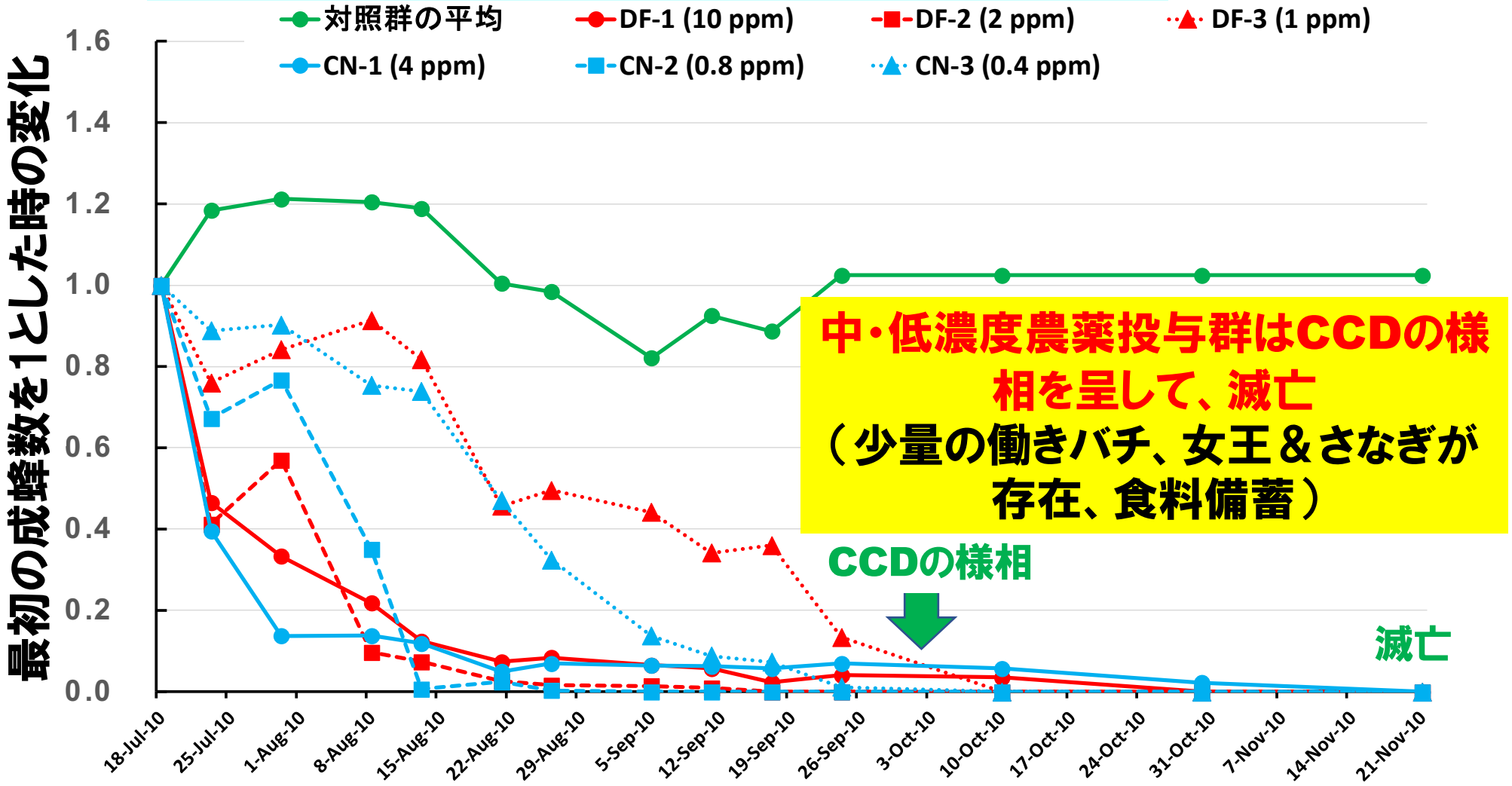
蜂群　（コロニー）への投与農薬（ネオニコ）

ジノテフラン（DF）；　クロチアニジン（CN）

高濃度(DF-1, CN-1): カメムシ殺虫濃度の1/10
中濃度(DF-2, CN-2): カメムシ殺虫濃度の1/50
低濃度(DF-3, CN-3): カメムシ殺虫濃度の1/100

2010年度実験結果

農薬を砂糖水＆花粉ペーストを介して投与



ジノテフラン（DF）、クロチアニジン（CN）を投与した蜂群の成蜂数の経時変化

	実験開始時	蜂群滅亡前	
無農薬	2010年7月18日　実験開始 女王蜂	2010年9月24日　68日経過 女王蜂	農薬：投与せず 女王蜂：存在 死蜂：少
農薬を全滅まで継続投与 1ppm ジノテフラン	2010年7月18日　実験開始	CCDの様相	女王蜂：存在 死蜂：少（CCD様相） 低濃度
農薬を最初の1回だけ投与 10ppm ジノテフラン	2010年7月18日　実験開始	2010年10月10日　84日経過	女王蜂：存在 死蜂：最初は極めて多いが（即死状態）、その後は少（CCD様相） 高濃度

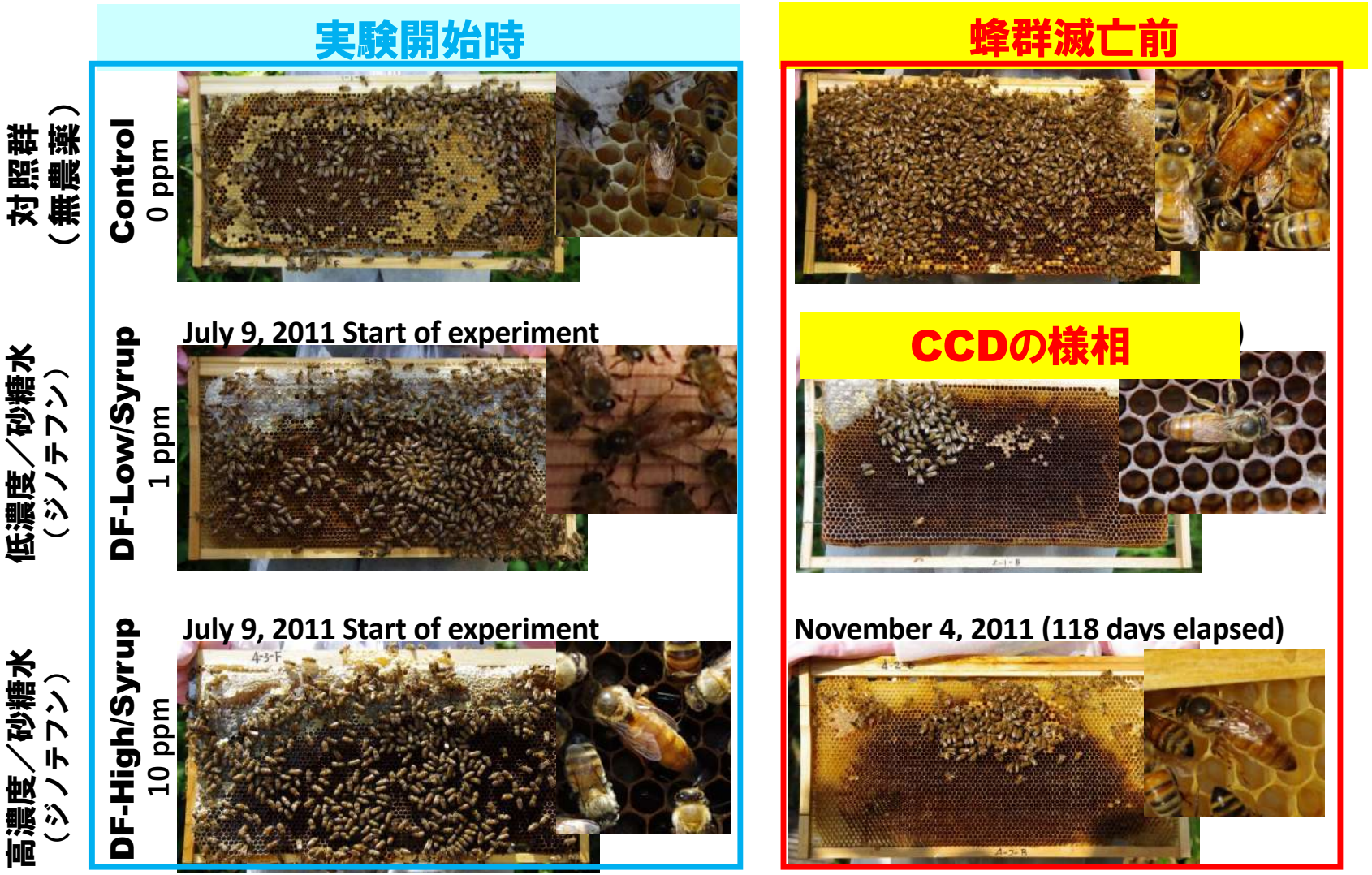
（10ppm　ジノテフランは最初の1回（5日間）のみの投与で、それ以降は無農薬）

実験開始時と蜂群滅亡直前の巣碑の状況例　蜂群絶滅直前でも、少数の働き蜂と女王存在（CCD様相）　CCDは滅亡までの一つの状態と思われる

2011年度：2011年7月9日～ 2012年4月2日（269日）石川県志賀町

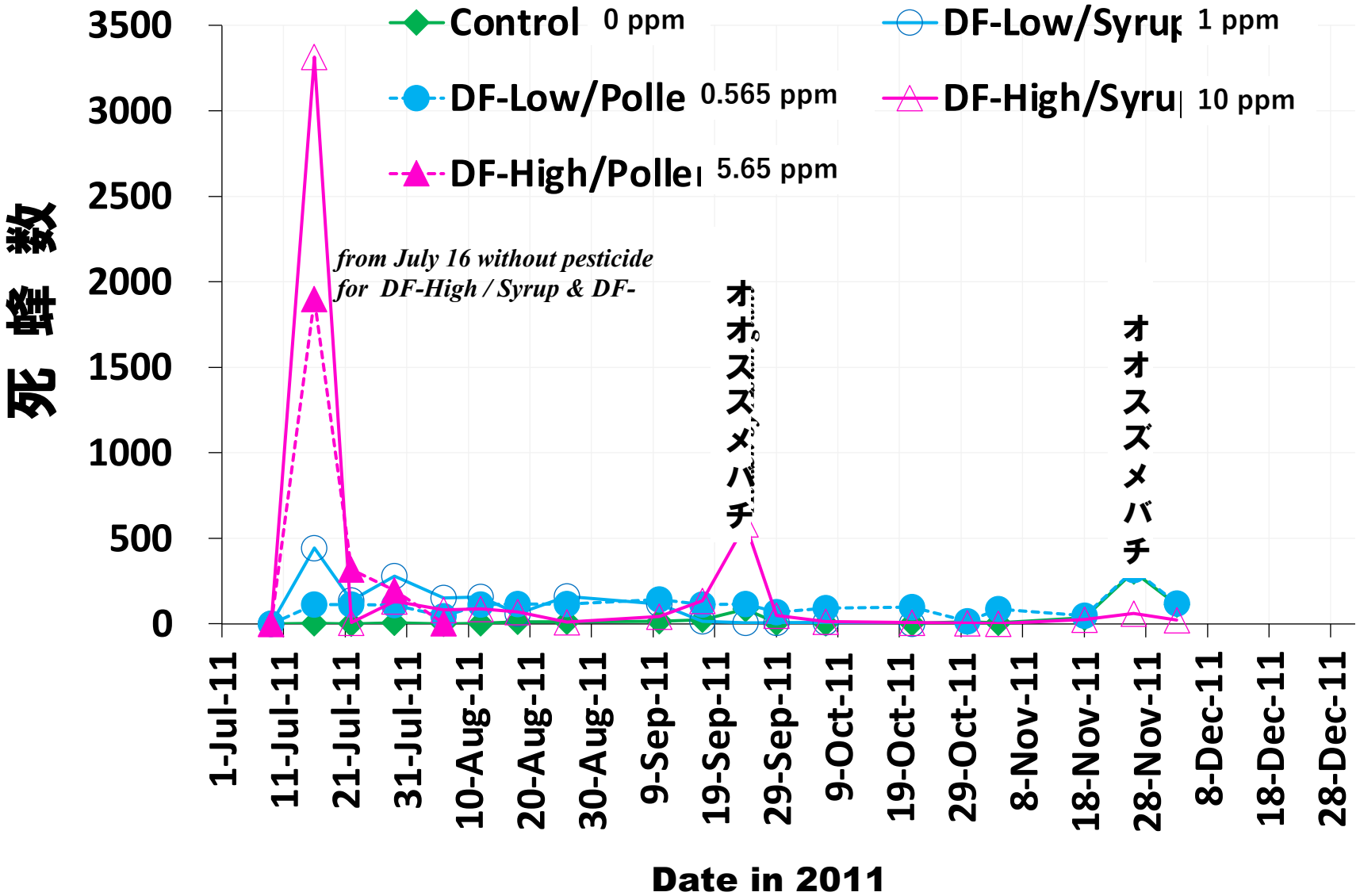
農薬の摂取経路（砂糖水、花粉ペースト）の蜂群への影響

砂糖水： エネルギー源（主に、成蜂が摂取）
花粉ペースト： たんぱく源（主に、幼虫、女王蜂が摂取）



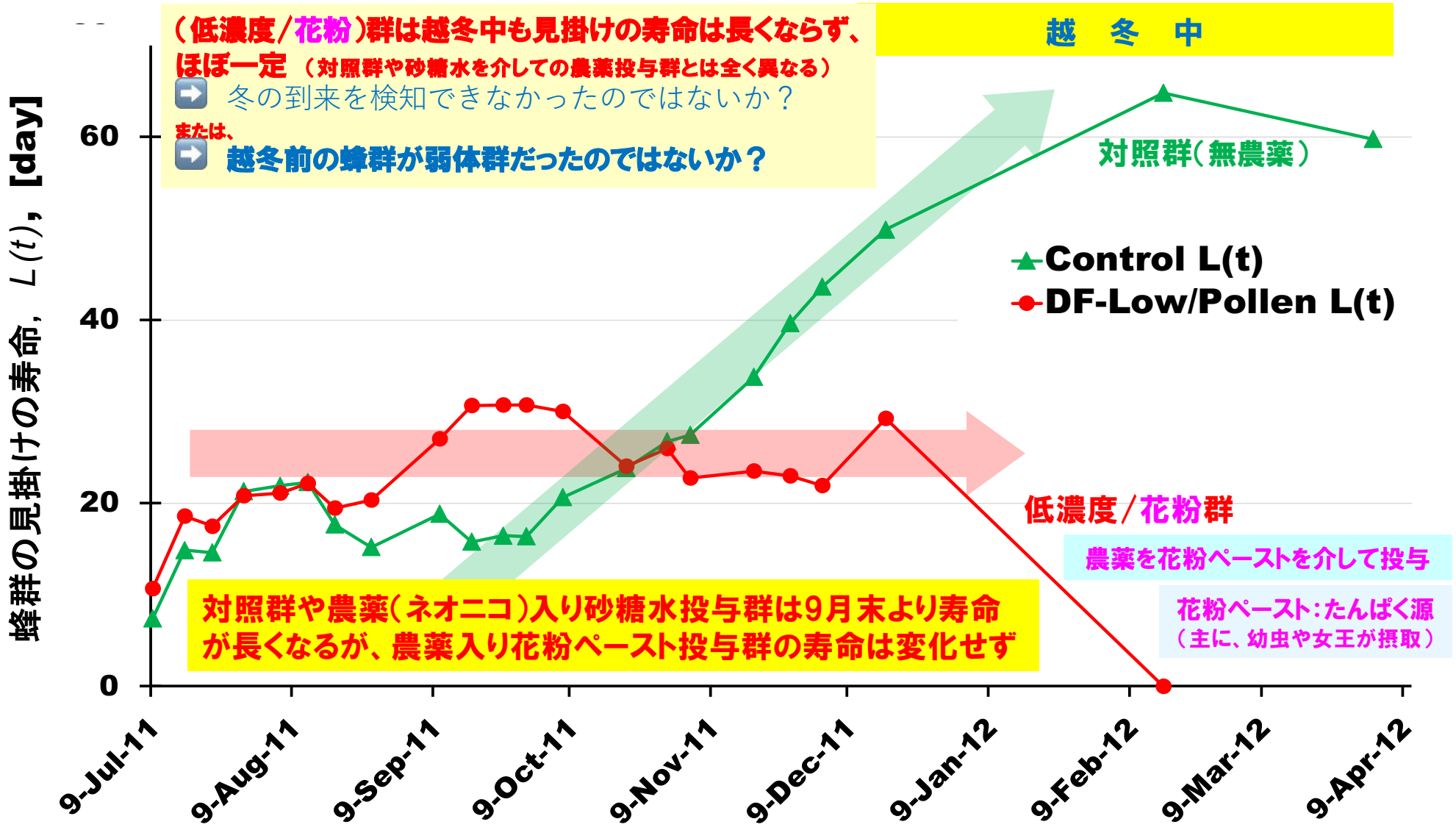
DF-High/Syrup (10 ppm) was fed to a colony for first seven days (only once) and after that pesticide-free syrup continued to be fed

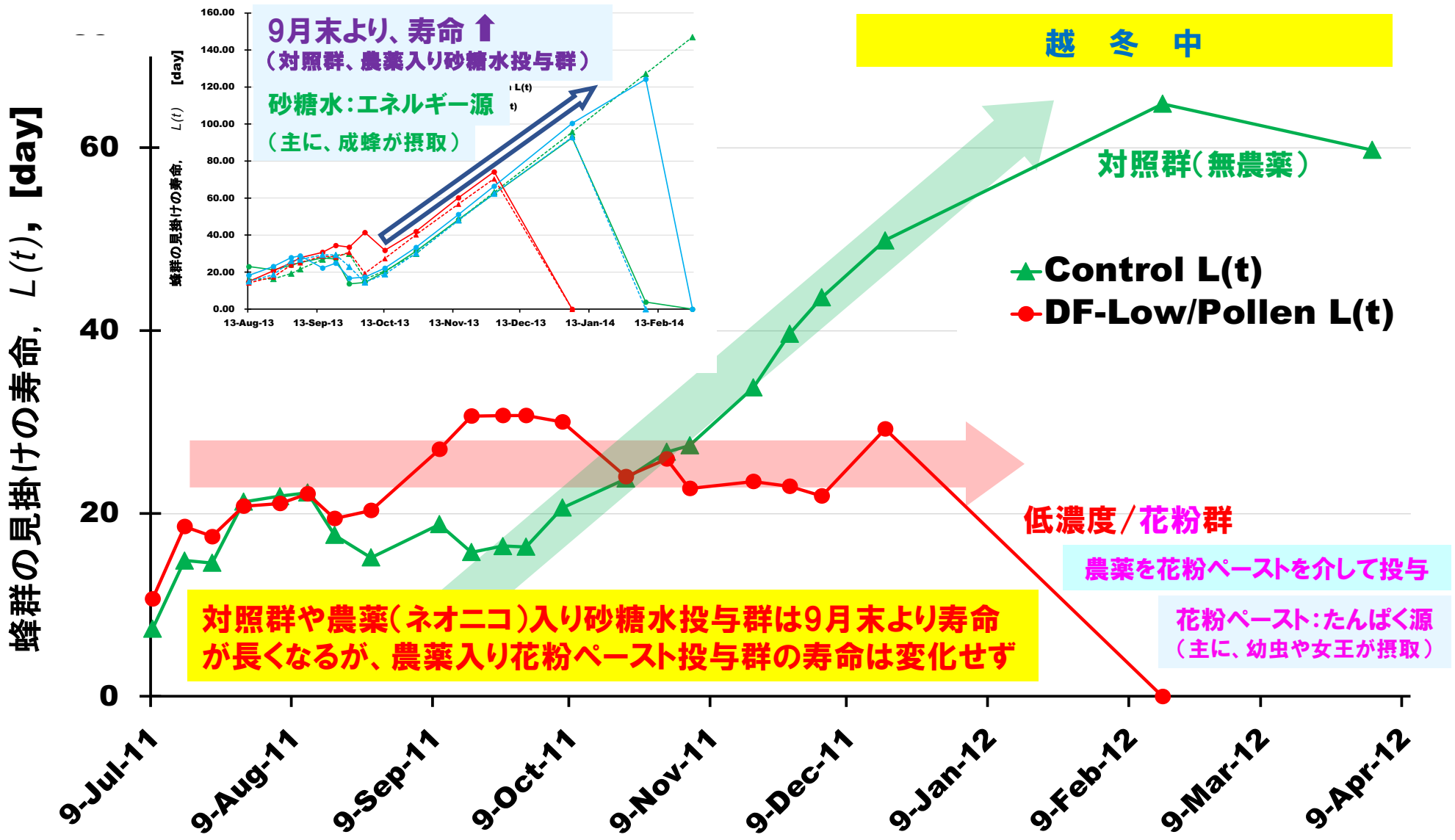
Figure Difference in state on comb between at the start of experiment and just before colony extinction



大きなトレイの上に巣箱を置いて、各観察実験日毎にトレイ上の死蜂数を測定

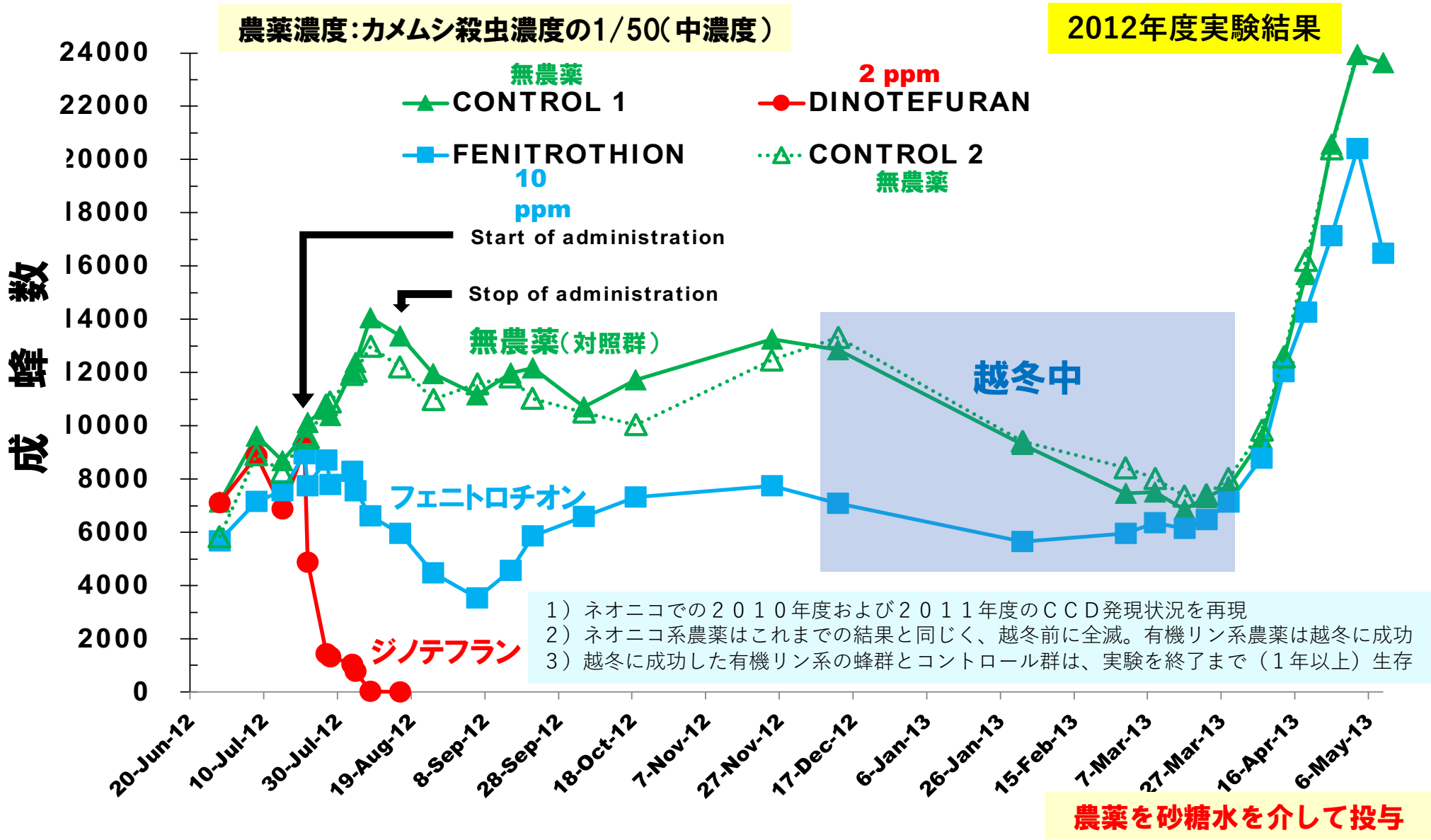
中濃度（カメムシ殺虫濃度の1／50）以下の農薬投与群の死蜂数は少なく、対照群とほとんど同程度である


（低濃度/花粉）群は越冬中も見掛けの寿命は長くならず、ほぼ一定 （対照群や砂糖水を介しての農薬投与群とは全く異なる）
冬の到来を検知できなかったのではないか？
または、
越冬前の蜂群が弱体群だったのではないか？
越　冬　中
対照群（無農薬）
Control L(t)
DF-Low/Pollen L(t)
低濃度/花粉群
農薬を花粉ペーストを介して投与
花粉ペースト：たんぱく源
（主に、幼虫や女王が摂取）
対照群や農薬（ネオニコ）入り砂糖水投与群は9月末より寿命が長くなるが、農薬入り花粉ペースト投与群の寿命は変化せず
蜂群の見掛けの寿命，L(t)，[day]
0
20
40
60
9-Jul-11
9-Aug-11
9-Sep-11
9-Oct-11
9-Nov-11
9-Dec-11
9-Jan-12
9-Feb-12
9-Mar-12
9-Apr-12


9月末より、寿命⬆
（対照群、農薬入り砂糖水投与群）
砂糖水：エネルギー源
（主に、成蜂が摂取）
越　冬　中
対照群（無農薬）
Control L(t)
DF-Low/Pollen L(t)
低濃度／花粉群
農薬を花粉ペーストを介して投与
花粉ペースト：たんぱく源
（主に、幼虫や女王が摂取）
対照群や農薬（ネオニコ）入り砂糖水投与群は9月末より寿命が長くなるが、農薬入り花粉ペースト投与群の寿命は変化せず
蜂群の見掛けの寿命，L(t)，[day]
0
20
40
60
9-Jul-11
9-Aug-11
9-Sep-11
9-Oct-11
9-Nov-11
9-Dec-11
9-Jan-12
9-Feb-12
9-Mar-12
9-Apr-12
蜂群の見掛けの寿命，L(t)　[day]
160.00
140.00
120.00
100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
0.00
13-Aug-13
13-Sep-13
13-Oct-13
13-Nov-13
13-Dec-13
13-Jan-14
13-Feb-14

2012年度：2012年6月28日～ 2013年7月26日（381日）石川県志賀町

ネオニコ（ジノテフラン）と有機リン（フェニトロチオン）との蜂群への影響



1）ネオニコでの２０１０年度および２０１１年度のＣＣＤ発現状況を再現
2）ネオニコ系農薬はこれまでの結果と同じく、越冬前に全滅。有機リン系農薬は越冬に成功
3）越冬に成功した有機リン系の蜂群とコントロール群は、実験を終了まで（１年以上）生存

農薬を砂糖水を介して投与

ネオニコ(ジノテフラン)投与群は投与後まもなく滅亡したが、対照(無農薬)群と有機リン(フェニトロチオン)投与群は、共に越冬に成功した

2014年度： 2014年10月23日～ 2015年7月20日（271日）ハワイ/マウイ島

ダニの居ないマウイ島での農薬の蜂群への影響

対照（無農薬）群：　3群
ジノテフラン（ネオニコ）投与群：　3群
クロチアニジン（ネオニコ）投与群：　3群
フェニトロチオン（有機リン）投与群：　3群

2014年度実験結果

マウイ島（ハワイ）

CR-1, CR-2, CR-3： 対照群
DF-1, DF-2, DF-3： ジノテフラン(0.2ppm)群
CN-1, CN-2, CN-3： クロチアニジン(0.08ppm)群
FT-1, FT-2, FT-3： フェニトロチオン(1ppm)群

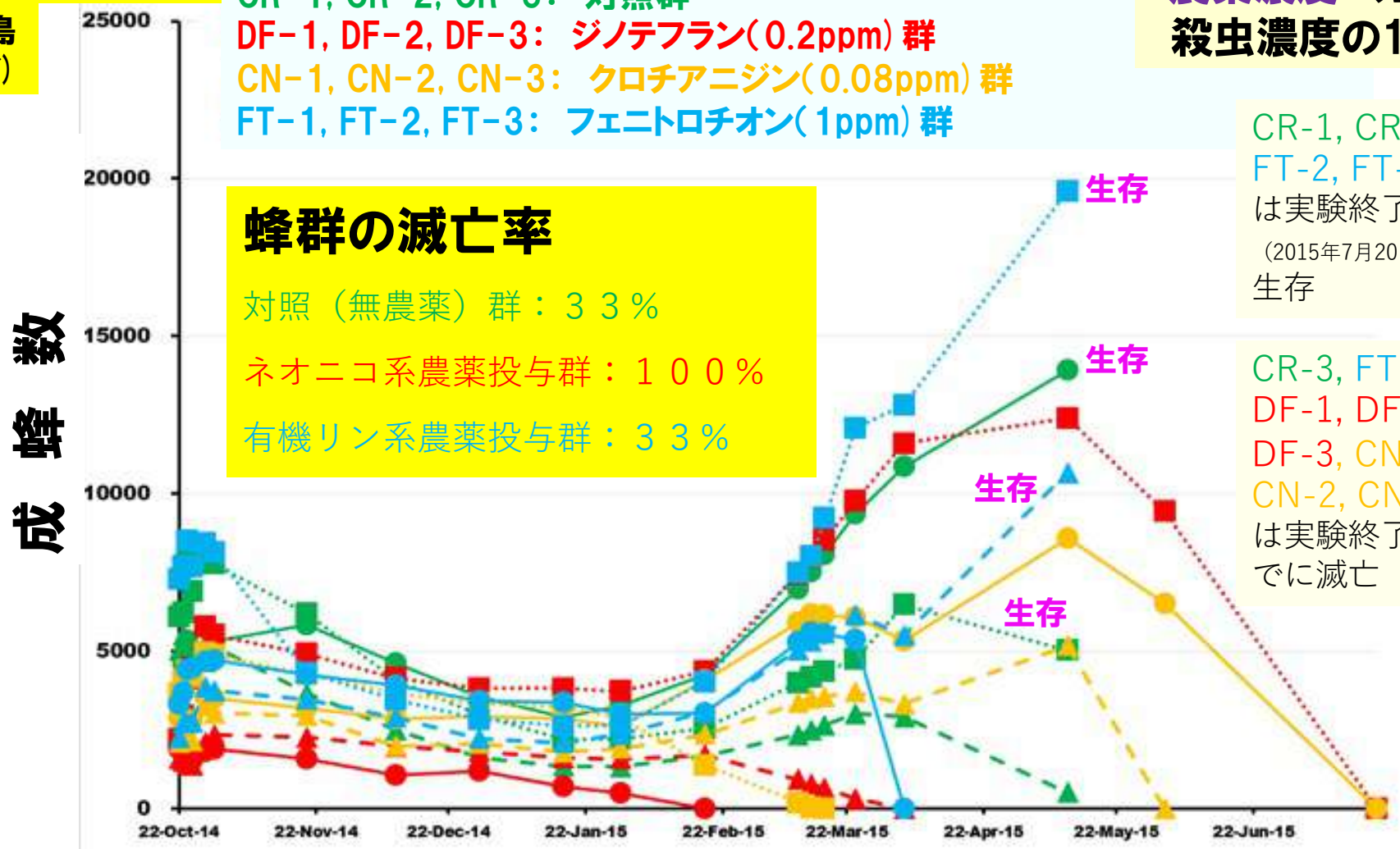
農薬濃度：カメムシ殺虫濃度の1/500

蜂群の滅亡率

対照（無農薬）群：３３％

ネオニコ系農薬投与群：１００％

有機リン系農薬投与群：３３％



CR-1, CR-2, FT-2, FT-3 は実験終了時（2015年7月20日）、生存

CR-3, FT-1, DF-1, DF-2, DF-3, CN-1, CN-2, CN-3 は実験終了までに滅亡

実験期間： 2014年10月23日～2015年7月20日（271日）

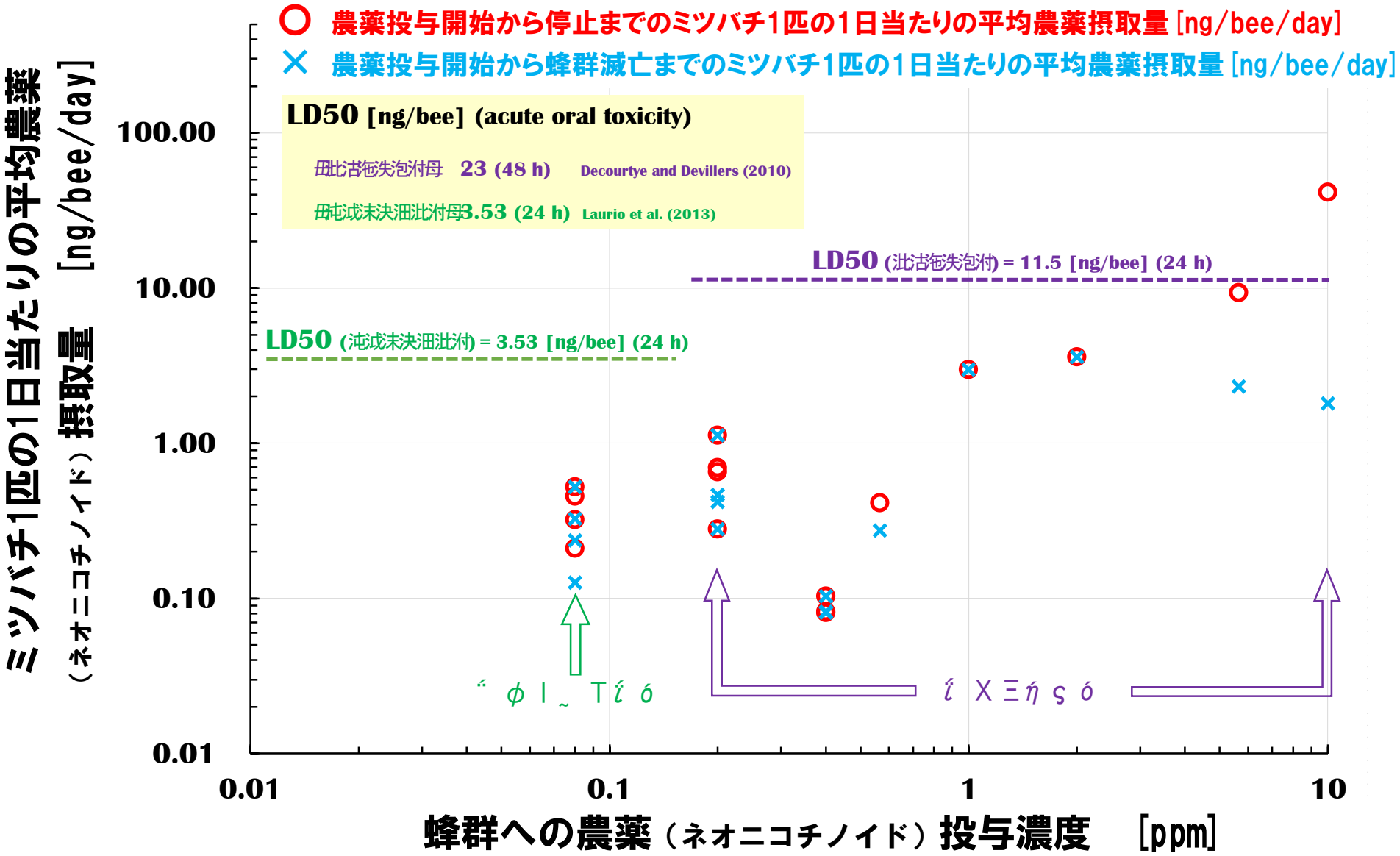
農薬を砂糖水を介して投与

野外実験での農薬投与濃度の妥当性の検討
（野外実験での農薬投与濃度が高すぎるのではないか？）

野外実験でのミツバチ1匹の1日当たりの平均農薬摂取量と
ＬＤ５０値との比較により、妥当性を評価

ミツバチ1匹の1日当たりの平均農薬摂取量
＝農薬の総消費量／対象期間中のミツバチの総数／対象期間の日数
（ミツバチの総数： 実験開始時の成蜂数と各観測日での封蓋蜂児（さなぎ）数から推測）

LD50（**Median Lethal Dose** 半致死量）
＝物質の急性毒性の指標。実験動物の半数が試験期間内に死亡する用量



ミツバチ1匹の1日当たりの平均農薬摂取量がLD50値よりも低い
⇒　野外実験での蜂群への農薬投与濃度は妥当な範囲である

最　後　に

1）野外実験での農薬投与濃度が極めて高く、現実と乖離しているという批判があった。が、食料を自由に採取できる野外という開放系においては、LD50の測定時の閉鎖系とは異なり、ミツバチの好みや必要性等で、農薬含有糖液や花粉ペーストの摂取量が変更される。本野外実験においては、LD50値に比べて、ミツバチ1匹の1日当たりの摂取量が低く、野外実験での農薬投与濃度は妥当な範囲であることがわかった。

2）ネオニコチノイド系農薬（ネオニコ）の特性（長期残効性、高毒性、浸透性、神経毒性）により、CCDの様相を呈しながら、蜂群は滅亡した。

3）ネオニコの特性（特に、長期残効性）が蜂群の越冬失敗を引き起こすがわかった。

4）四季がなくダニもいないマウイ島でも、CCD様相を呈しながら、ネオニコ投与群が全滅し、日本での実験結果を再現した。

5）ネオニコ含有花粉ペースト投与群のミツバチの寿命は、四季を通してほぼ一定であり、冬の到来を感知できないようであることが分かった。冬の到来を感知する能力が欠損したためと推定した（遺伝子のコピーミス？）。

最　　後　　に

1. 野外実験での農薬投与濃度は妥当な範囲である。

2. ネオニコ投与群はCCDの様相を呈しながら、滅亡する

3. ネオニコ投与群は越冬の失敗を引き起こす

4. ダニがいないマウイ島でもネオニコ投与群が全滅し、日本での実験結果を再現した

5. ネオニコ入り花粉ペースト投与群の見かけの寿命は、冬に向けて長くなるという一般的な傾向を示さず、四季を通じてほぼ一定であるという特異な変化を示した

参考文献

2010年度実験結果

Toshiro Yamada, Kazuko Yamada and Naoki Wada (2012). Influence of dinotefuran and clothianidin on a bee colony, Japanese Journal of Clinical Ecology 21(1): 10-23.
https://www.ontariobee.com/sites/ontariobee.com/files/Influence%20of%20dinotefuran%20and%20clothianidin%20on%20a%20bee%20colony.pdf.

2011年度実験結果

Toshiro Yamada, Kazuko Yamada and Yasuhiro Yamada (2018). A clear difference in the impact on honeybee (Apis mellifera) colony between the two vehicles of sugar syrup and pollen paste. Journal Biological Series 1(3): 084-107.
https://www.academiapublishing.org/journals/jbs/abstract/2018/Jul/Toshiro%20et%20al.htm.
https://www.academiapublishing.org/journals/jbs/pdf/2018/Jul/Toshiro%20et%20al.pdf.

2012年度実験結果

Toshiro Yamada, Yasuhiro Yamada and Kazuko Yamada (2018). Difference between the impact of the neonicotinoid dinotefuran and organophosphate fenitrothion on a bee colony in a long-term field experiment: An evidence. Journal Biological Series 1(3): 108-137..
https://www.academiapublishing.org/journals/jbs/abstract/2018/Jul/Yamada%20et%20al.htm.
https://www.academiapublishing.org/journals/jbs/pdf/2018/Jul/Yamada%20et%20al.pdf.

2013年度実験結果

Toshiro Yamada, Yasuhiro Yamada and Kazuko Yamada (2018). Comparison of the influence of a pesticide at an environmentally realistic concentration level in Japan on a honeybee colony between neonicotinoids (dinotefuran, clothianidin) and organophosphates (fenitrothion, malathion). Journal Biological Series 1(4): 187-207.
https://www.academiapublishing.org/journals/jbs/abstract/2018/Oct/Yamada%20et%20al.htm.
https://www.academiapublishing.org/journals/jbs/pdf/2018/Oct/Yamada%20et%20al.pdf.

2014年度実験結果

Toshiro Yamada, Kazuko Yamada and Paul Apao (2018). Comparison of the long-term influence of a pesticide on a bee colony between neonicotinoids (dinotefuran, clothianidin) and organophophate (fenitrothion) in Maui where there are neither harmful mites nor cold winter. Journal Biological Series 1(4): 156-186.
https://www.academiapublishing.org/journals/jbs/abstract/2018/Oct/Yamada%20et%20al..htm.
https://www.academiapublishing.org/journals/jbs/pdf/2018/Oct/Yamada%20et%20al..pdf.

2014年度実験結果 & 見かけの寿命推定結果

Toshiro Yamada, Kazuko Yamada (2020). Comparison of long-term changes in size and longevity of bee colonies in mid-west Japan and Maui with and without exposure to pesticide, cold winters, and mites. PeerJ 8: e9505.
https://peerj.com/articles/9505.

2018年度実験結果

Toshiro Yamada (2020). Seasonal Changes in the Size and Mite-Prevalence of A Bee Colony Exposed to Dinotefuran via Pollen Paste and Damaged by Varroa Mites. Enliven: Journal of Dietetics Research and Nutrition 7(1): 002.
http://www.enlivenarchive.org/articles/seasonal-changes-in-the-size-and-miteprevalence-of-a-bee-colony-exposed-to-dinotefuran-via-pollen-paste-and-damaged-by-varroa-mite.pdf.

見かけの寿命の推算モデル

YasuhiroYamada, ToshiroYamada & KazukoYamada (2019). A mathematical model to estimate the seasonal change in apparent longevity of bee colony. Scientific Reports 9, Article number: 4102.
https://www.nature.com/articles/s41598-019-40725-0.
https://www.nature.com/articles/s41598-019-40725-0.pdf.