特 集 記 事

遺伝・育種学関連用語における問題点

鵜飼保雄

茨城県土浦市, 〒 300-0837

Problems relating to the technical terms of breeding and genetics

Yasuo Ukai

Tsuchiura, Ibaraki, 300-0837, Japan

キーワード

育種学用語, 交雑, 分離育種, 集団改良法, 組換え価, サイブリッド, 選抜強度

育種学会の五十周年事業としての「植物育種学辞典」を編集している過程で、用語について少くない問題点に行き当たった。それらの多くは執筆頂いた方に直接メールなどで問い合わせをし、たがいの議論のうえで、必要な場合には添削や修正をさせて頂いた。しかし、中には執筆者と編集担当者の間の検討では済まない問題や、定義や用法が広く誤解されているのではないと思われる用語もあった。学会員の方々に十分な議論をして頂くことを望み、ここにそれらの用語のいくつかについて私見を提示したい。

1. 統一が必要と考えられる用語

1.1 交配か交雑か

交配と交雑はしばしば混同して使われている。たとえば、cross breeding に相当する日本語には交配育種と交雑育種がある。同様に、戻し交配と戻し交雑、単交配と単交雑などもどちらが適切かということが、辞典編集上は問題となる。育種学の教科書を歴史的にみても、統一されていないようである。古くは明峰 (1917) の「作物育種学」では交配育種法が用いられている。いっぽう、宗 (1916) の「品種改良論」では「雑婚による育種法」が、また宗 (1925) の「育種学講義」では交雑育種法となっている。

戦後に出版された長尾 (1956)、片山 (1956) および松尾 (1959) による教科書では、交雑育種法、戻し交雑、単交雑の用語が使われている。最近の武田 (1993)、池橋 (1996)、日向ら (2001) の教科書でも同様である。赤藤 (1958) では、戻し交雑と単交雑は同様であるが、交雑育種法の代わりに交配育種法となっている。

いっぽう角田ら (1991) の教科書では、交配育種法、戻し交配、単交配となっている。また藤巻 (2003) では、交配育種や交雑育種の語は見当たらないが、単交配、戻し交配を用いている。日向 (1997) では単交配と戻し交雑の語が索引にみられる。

そもそも、交配と交雑では意味が違う点があるのかを調べるために新村編 (1987)「広辞苑」を開くと、交配は「雌雄の配合。交雑と同義にも用いる」、交雑は「遺伝的にちがった形質を持つ個体の交配」とある。交配は交雑よりも広い概念であり、両親の遺伝子型を問わないが、交雑の用語は、両親が遺伝的に異なる場合に当てはまるといえる。

これを受け入れると、育種との関連で種子親と花粉親とをかけあわせ場合には、必ず両親の遺伝子型が異なると言ってよいので、交配育種より交雑育種、戻し交配より戻し交雑、単交配より単交雑を用いるのが適切であると考えられる。またかけあわせの結果得られる子孫の雑種に関心がある場合は交配よりも交雑を用いるべきであろう。いっぽうダイアル交配、無作為交配のような場合には、かけあわせにおける両親の組み合わせに重点があり、親の遺伝子型が同一である場合も含むので、交雑よりも交配のほうが適切と思われる。

なお交配の類義語に「配偶」がある。寺尾 (1931) は配偶を交雑の意味で用いている。しかし、新村編 (1987)「広辞苑」では、配偶の意味は「そわせること」とあるように、両親の組み合わせに重点があり、交雑よりも交配に近い意味をもつ。ただし random mating, sib mating に対して、日本語では無作為交配 (または任意交配)、きょうだい交配を使うことが多く、無作為配偶、きょうだい配偶とはあまり言わない。

1.2 分離育種法か選抜育種法か

交雑やその他の変異作出法をとまわずに、集団に含まれる遺伝変異を対象として選抜だけで品種を育成す

る方法に対して、日本の育種学教科書では「分離育種(法)」または「選抜育種(法)」と一括して呼んでいる。

「分離育種(法)」の用語を育種学の教科書で最初に用いたのは、筆者の知る限りでは明峰(1917)「作物育種学」である。彼は育種法として、分離育種法と交配育種法があると述べ、分離育種法を、「種々の原因に由り、不純粋となれる品種中より純粋にして、優良なる品種を分離育成する方法」と定義している。本文の説明を読むと、純系分離と同義とみなしていると理解される。索引には、分離育種法のドイツ語として *Trennungszüchtung* が挙げられている。*Trennung* の訳は独英辞典をみると、分離、分割、分解、離脱などある。ただし、ここでの分離の意味は、 F_2 などの雑種集団での遺伝的「分離」で用いられる分離(segregation)の意味ではなく、一般にいう政教分離などの場合と同様の意味である。宗(1925)では、分離育種を分型育種法と記している。

この流れを汲んだ教科書として、赤藤(1958)「育種学汎論」がある。そこでは、分離育種法を、さらに植物の繁殖様式によって、自殖性植物の純系分離、他殖性植物の系統分離、栄養繁殖性植物の栄養分離にわけている。系統分離法には、集団選抜法、系統集団選抜法、成群集団選抜法、1穂1列法が含まれている。なお、分離育種法の英語として *breeding by segregation* を当てているが、これは日本語から逆に英訳したものであろう。英文の教科書では、この語は見あたらない。

松尾(1959)「育種学」でも、分離育種法(または分型育種法)を用い、赤藤に準じて、純系淘汰法、系統分離法、栄養系分離法からなるとしている。系統分離法には、集団選抜法、系統集団選抜法、成群集団選抜法、家系選抜法を含むとしている。分離育種法の英語には単に *selection* を当てている。武田・山元(1991)、武田(1993)、池橋(1996)も分離育種の用語を用いている。

「分離育種法」の語を使わない研究者もある。酒井(1952)「植物育種学」では、自殖性植物での純系選抜法、他殖性植物での集団選抜、成群選抜、家系選抜、また栄養繁殖性植物での栄養体集団または栄養体を種子繁殖した集団からの選抜、などを一括して「選抜育種法」となづけている。クックら著、足立訳(1987)「植物育種学概説」でも「選抜育種」の語が用いられている。

クックらのドイツ語原本の英訳本(Kuckuck *et al.* 1985)では、「選抜育種法」は *selection breeding* となっていて、*mass selection*, *pedigree breeding of self-fertilizing crops*, *pedigree breeding of cross-pollinated crops*, *selection in vegetatively propagated crops* に分けている。ほかの英語の育種教科書では、選抜だけによる育種法について詳述していないが、集団選抜法だけを記載していることが多い。

「分離育種法」と「選抜育種法」とどちらかに用語を統一したほうがよいと思われる。「分離育種法」という名称はすでにある程度なじみがあるが、分離が *segregation* の

意味と混同されやすいきらいがある。この混同が少ないという点では、「分型育種法」のほうがよい。「選抜育種法」は、交雑育種法とまぎらわしい感じがあるが、英語の *selection breeding* に対応している点が良いので、こちらを推奨したい。

1.3 系統分離法

この用語は、日本語の従来の教科書では、しばしば他殖性植物における「分離育種法(選抜育種法)」に分類される育種法の総称として用いられる。しかし、それらの教科書では、「系統分離法」に個体選抜を基本とする集団選抜法も含ませているので、用語の意味と矛盾する。また「系統分離」の語は、交雑育種において、個体または穂別に次代に系統展開する操作にも用いられるので、きわめてまぎらわしい。「分離育種法」の一部としての「系統分離法」の使用は避けたほうがよいと思われる。単に「他殖性作物における選抜育種法」とすれば充分であろう。

系統分離の英語として、赤藤(1958)は、*line separation* を当てている。松尾(1959)には英語がついていない。海外の教科書では、これに相当する用語がないようである。強いて探せば、*line or pedigree selection* や *pedigree breeding* がある。ただし、これらの用語は交雑の有無を問わず用いられ、選抜操作としての系統分離のことである。また、個体単位の選抜である *mass selection* を含まない。

1.4 他殖性植物における集団改良法

他殖性作物の育種法のうち、集団の改良に関する手法については、名称や定義が統一されてなく、混乱を与えている感がある。赤藤(1958)は、組み合わせ能力の高い近交系を育成する方法として、累積選抜法(*cumulative selection*)、循環選抜法(*recurrent selection*)、相反循環選抜法(*reciprocal recurrent selection*)、系統間交雑法(*top cross method*)、戻交雑法(*backcross method*)、収斂法(*convergent improvement*)、複収斂法(*multiple convergence*)を挙げている。ただし、内容の説明はない。松尾(1959)では組み合わせ能力改良の方法として、これらの手法を説明つきで記している。ただし、収斂法は集中改良法、複収斂法は複集中改良法としている。なお両書とも、他殖性植物における「分離育種」として、集団選抜法、系統集団選抜法、成群集団選抜法を述べている。赤藤(1958)では、トウモロコシの一穂一列法(直接法と残穂法)(*ear to row method*)を分離育種の中で、集団選抜法などと同列の1手法として扱っている。松尾(1959)では、一穂一列法を系統集団選抜法の変形として、母系淘汰法(多父育種法)(*maternal line selection*)を成群集団選抜法のひとつとして説明している。両書とも、近交系間の優良な組み合わせを選定する方法として、合成品種(*synthetic varieties*)をあげている。

鈴木ら(1974)では、集団改良法を(1)相加的効果の

集積を目的とする方法と(2)相加効果と優性効果の集積を同時に目的とする方法に分けている。前者には集団選抜(および、その改良法としての母系選抜法、変型としての層化集団選抜法)、きょうだい選抜(その変型として、一穂一列法、一般組合せ能力循環選抜、特定組合せ能力循環選抜、集中改良法)、全きょうだい選抜、自殖第1代による選抜が説明されている。後者には相反循環選抜法のみが記されている。

比較的最近の育種学教科書で他殖性植物の育種法としてあげている手法を調べてみると、武田・山元(1991)では分離育種法と合成品種育種法を、一代雑種育種法と並べてあげている。日向(1991, 1997)および西尾(2000)も、集団選抜法、一代雑種育種法、循環選抜法、合成品種育種法を並列的に扱っている。いっぽう池橋(1996)は、一代雑種育種法とは別に、他殖性植物の育種法として、集団選抜法、成群集団選抜法、系統集団選抜法、循環選抜法、合成品種育種法の5種をあげ、系統集団選抜法の中に、後代検定による半兄弟系統の選抜、検定交雑による半兄弟系統の選抜、完全兄弟系統の選抜、自殖系統検定による選抜の4つの場合を含めている。また循環選抜法は単純循環選抜法と相反循環選抜法に、合成品種育種法は種子系統による方法と、栄養系を利用した合成品種の方法にわけている。近年の教科書中では他殖性植物の集団改良法について比較的詳しく述べている藤巻(2003)では、一代雑種育種法とは別に、開放受粉集団改良方式の章を設けて、表現型による集団選抜としての集団選抜法、また後代検定に基づく集団改良としての単純循環選抜法と相反循環選抜法をあげている。後代検定には自殖系統、全きょうだい系統、半きょうだい系統、開放受粉系統が用いられると述べている。

なお、全兄弟、半兄弟「兄弟」の語は、育種学用語としては平かなで「きょうだい」と記すようになっているが、ここでは引用文献中の記述にそのまま従った。

以上のように、他殖性植物の育種法の説明は教科書によってかなり異なる。もちろん教科書は著者の長年の知識と経験にもとづき執筆されるものであり、おのずから著者独自の見解が反映されるので、違いがあっても当然である。しかし、教科書によって他殖性作物の育種を初めて学ぶ者にとって、育種法の分類や名称にあまり大きな違いがあるのは困惑の因となるであろう。学会としてのある程度統一した見解が必要であり、そのための議論をおこなうことが薦められる。とくに牧草、飼料作物、野菜類など、他殖性植物の育種を担当されている現場の方々のご意見をお聞きしたい。

なお海外では、Sprague and Eberhart (1977)は、集団改良法を集団内改良法と集団間改良法にわけ、前者には、集団選抜法、変型一穂一列法、半兄弟選抜法、全兄弟選抜法、検定交雑選抜法、 S_1 系統選抜法が、後者には、相反循環選抜法、相反全兄弟選抜法が含まれるとしている。ここで従来の母系選抜法は半兄弟選抜法に相当するとみなさ

れる。また組合せ能力に関する循環選抜は検定交雑選抜法に、表現型循環選抜法は S_1 系統選抜法に相当する(望月1985)。またPoehlman and Sleper (1995)では、集団改良法として、循環選抜(表現型循環選抜、遺伝子型循環選抜)、集団選抜、後代検定つき半きょうだい選抜、検定交雑つき半きょうだい選抜、全きょうだい選抜、自殖系統検定による選抜、相反循環選抜、合成品種をあげている。筆者の著書(鶴飼2003)では、この方式を踏襲した。

1.5 負の選択

King and Stanfield (2002)の“Dictionary of Genetics”(6th ed.)や、Rieger *et al.* (1991)の“Glossary of Genetics”には、negative selectionの項目はなく、項目 selectionでの説明もない。Falconer (1960), Wright (1969), Hartl and Clark (1989)を調べても、negative selectionの用語は索引にもない。

木村(1986)ではnegative selectionを「負の淘汰」と訳して、彼の分子進化の中立説を主唱する上での重要な要因としてあげている。八杉ら編(1996)「岩波 生物学辞典」(第4版)には、そもそも「選択」の項目がなく、「淘汰」の項目で、「負の淘汰」(negative selection)について、「集団中に有害な遺伝子が出現したとき、これをもった個体の生存力や妊性がそこなわれ、その遺伝子が集団から除去されること」(定義1)と記されていて、「劣性致死遺伝子や弱有害遺伝子にはたらく」とされている。

日本語で「負の選択」をウェブ検索すると、130件以上ヒットし、すべてこの生物学辞典の定義と同じ意味で使われている用例である。

育種学の関連では、Kuckuck *et al.* (1985)の書で、negative mass selectionの語があり、“If only all undesired offtypes are rogued in a field crop and the rest are then propagated further, it is called negative mass selection.”と説明されている。この説明は、上の定義1に則している。

ところが、英語でnegative selectionを検索すると、280万件以上あるが、その冒頭サイトには、フリーの百科辞典であるWikipediaの解釈である、In biology, negative selection is artificial selection in which negative, rather than positive traits of a species are selected. It is generally not desirable, but caused by bad management, wherein humans eat the best plants or animals they have, leading to worse and worse stock; it occurred frequently, for example in primitive beekeeping. が掲げられている。ここでは、負の選択は「集団の適応度を低下させるような形質がむしろ選ばれ(採択され)て、結果的に集団の適応度を下げる現象」(定義2)となっている。生殖器官が花弁化した八重性や雄性不稔の個体を選抜する育種では、適応度が下がるので、「負の選択」とよべるであろう。なおこの冒頭サイト以外のほとんどでは、negative selectionは定義1「劣性致死遺伝子や弱有害遺伝子の除去」の意味で使われている。

定義1によれば、「劣性致死遺伝子や弱有害遺伝子を除

去(=負の選択)」して「より正常な遺伝子を選択する(=正の選択)」ので、結局選択の操作としては、「正の選択」も「負の選択」も同じことになってしまう。「負の選択」では選択される遺伝子よりも除去される遺伝子に関心があるという違いだけになる。定義1による「負の選択」の用法は、現在圧倒的に広く用いられているが、あえて誤用であるといいたい。定義2の用法に限るべきであろう。

なお大修館「新漢和辞典」(1985)では、選択や選抜の「選」は、選挙、選出、選手などの語にみられるとおり、「えらぶこと」であり、「えらぶ」とは、「数多い中からえりぬく」こととある。一方、「淘汰」の「淘」には「除く」の意味が、「汰」には「洗い除く」とか、「劣悪なものを選び分けて去る」の意味があると記されている。新村編(1987)「広辞苑」をみても同様の区別がある。これから見て、「選択」と「淘汰」は本来別の語義をもつもので、国語としては一般に明確に区別されている。したがって「負の淘汰」という用語は、淘汰の語の誤用でもあり、適切とは思われない。

2. 誤用または誤解されがちな用語

2.1 組換え価と地図距離

連鎖地図作製に用いられる組換え価(recombination value)は、「二重雑種の F_1 に生じる配偶子中の組換え型の遺伝子型をもつ配偶子の期待頻度」と定義される。一方、地図距離(map distance)は、「乗換え頻度にもとづく染色体上の2座間の距離」と定義される。組換え価は遺伝子型の分離比にもとづいて定義され、小数または%で表わされる。それに対して地図距離の単位はモルガンであり、1モルガンは、1回の減数分裂で染色分体あたり1回の乗換えが生じることが期待される距離である。組換え価と地図距離は、定義だけでなく、数値的にも異なり、組換え価は2倍体では理論上0.5を超えないが、地図距離には上限がない。組換え価は地図距離よりもつねに小さいが、2遺伝子座がごく近接している場合には両者は漸近的に一致する。組換え価は観察される値であるが、地図距離は組換え価から地図関数を媒介として計算で求められる。また組換えは遺伝現象であるが、乗換えは細胞学的事象である。

日本の遺伝学の教科書や参考書では、組換え価と地図距離が混同されたり、地図距離が誤って説明されたりしている場合が多い。例をあげると、

「2倍性個体の場合も単相性孢子の場合も、2点間の組換え値(recombination value)が得られれば、その値の1/2が乗換単位(crossover unit, c.u.あるいはMorgan unit)である」(木谷ら1980)

「遺伝子地図とは同一染色体上の遺伝子相互の距離を組み換え率1%を単位(モルガン:M)として表現したものであり」(武部・清水1986)

前者の文は全くの誤解であるが、後者では組換え価(組み換え率)と地図距離の定義が混同されている。比較的最近の育種学の教科書でも同様な混同や誤解が散見される。誤りの中でとくに多いのは、「組換え価の1%を1センチモルガン(cM)とする」という記述である。

組換え価と地図距離の混同が生じるには歴史的な背景がある。連鎖が発見された1910年代から20年間ほどは、海外の論文でも組換えと乗換の区別があいまいであった。

そもそも遺伝子座間の連鎖を発見した米国のMorgan一派も、1910年代には染色体上の2遺伝子座の間の距離は、座間のcross-over value(乗換え価)に比例すると考えていた。ただし、この場合のcross-over valueは、現在の組換え価の意味で使われていた。彼らの考えの中では、組換え価と地図距離との区別がまだなかったとみられる。

周知のとおりmorgan(モーガン)という単位を提案したのは、英国の遺伝学者Haldane(1919)であるが、彼もまたその論文で、組換え価の代わりにcross-over valueという語を用いている。またlinkage valueという語も散見される。ただし彼の場合は、地図関数を扱う論文でこの用語を用いているので、他の研究者とちがって地図距離と組換え価を混同していたわけではない。つまり概念の混同ではなく、用語の不適正にすぎない。

Owen(1928)とImmer(1930)は論文でcrossing over percentage(乗換え率)という語を、またHaldane and Waddington(1931)、Takezaki(1928)は、論文表題や本文でcross-over valueという語を組換え価の意味で用いている。Woodworth(1923)は組換え型と非組換え型の配偶子をcross-over gameteとnon-cross-over gameteとよんでいる。Stevens(1939)は組換え価を正しくrecombination fractionと書いているが、いっぽうでは組換え型と非組換え型をcrossover classとnon-crossover classと記している。また初期の論文で共通していわゆる乗換え率を計算で求めることを「linkage intensity(連鎖強度)を計算する」と表現している。

一方、インドのKosambi(1944)は組換え価をrecombination value、地図距離をmap distanceと正しくよんでいる。またFisher(1948)も組換え価をrecombination fraction、地図距離をmap distanceと表わしている。日本語ではmap distanceは地図距離または図距離(野田1980、安田1987)と訳されている。

用語の混乱を避けるためにcrossover valueやlinkage valueという語は使わないようにすべきであるとBridges(1932)が提案している。欧米の論文では、以降この提案に従っているようであり、現在では組換え価から地図関数による変換で求められる平均乗換え頻度は地図距離の語で表わされている。また組換え価と地図距離を混同するようなことは見られない。日本においては、田中監修(1977)「遺伝学辞典」に乗換価、八杉ら編(1996)「岩波生物学辞典」(第4版)には交叉価の項目がみられるが、乗

換え価, 交叉価, 連鎖価などの使用は避けて地図距離の用語を用いるべきである。また組換え価と地図距離を混同しないよう充分注意する必要がある。

2.2 地図距離と遺伝距離

地図距離は DNA 塩基対 (base pair) の長さで計った物理的距離とは比例せず, 乗換えが高頻度に生じる部位では長めに, 乗換えが起こりにくい部位では短めに評価される。その意味で物理的距離ではなく, 「遺伝的」距離である。このため map distance は, genetic distance とよばれる。日本語ではこれを「遺伝距離」と訳して使用している場合がある。

しかしいっぽう, 「遺伝距離」は, 集団遺伝学において, 進化上の関連性のある 2 種類の個体または生物集団間における遺伝的関連性の遠近 (非類似性) を表わす用語として用いられる。したがって, 染色体上の地図距離 (map distance) の意味で遺伝距離の用語を使用することは混乱を生じやすいので地図距離と表すほうがよいと考えられる。

2.3 細胞質雑種またはサイブリッド

細胞質雑種またはサイブリッドの語は, 海外でも日本でもかつて細胞融合によって生じた個体一般を指す語としてもちいられていた。Chaleff (1981) (98 頁) は, “a cell that contains the cytoplasm of both parents, but the nucleus of one” であるような cytoplasmic hybrids を heteroplasmons または cybrids とよんでいる。同様に常脇 (1991) は, 「両親由来の細胞質遺伝子をもつものを指す」と説明している。

しかし, 最近の定義はこれらと異なっている。Schlegel (2003) の辞典では, “the hybrid formed from the fusion of a cytoplasm and a whole cell” と定義されている。また Rieger *et al.* (1991) の辞典によると, the fusion product of an enucleated cytoplasm with an intact (nucleated) cell. In cybridization, the nuclear genome of one parent is combined with the organelles of a second parent. と説明されている。すなわち, 非対称融合で供与親の核が完全に脱落し, 供与親の細胞質と受容親の核をもつようになった個体を細胞質雑種 (cytoplasmic hybrid) またはサイブリッド (cybrid) とよぶとされている。最近の用法に従うことが勧められる。

2.4 選抜強度と選抜割合

量的形質の選抜において, ある値以上 (またはある値以下) の表現型を示す個体を選ぶ方式を切断型選抜 (truncated selection) という。いま分離世代における個体の表現型値 Y が, 集団全体で平均 $\bar{Y}$, 分散 σ_p^2 の正規分布にしたがうとする。切断選抜された集団における選抜個体だけの Y の平均を $\bar{Y}'$ とするとき, $\bar{Y}' - \bar{Y}$ を選抜差 (selection differential) とよび, ふつう I で表す。また I を

表現型値の標準偏差 σ_p で除して基準化された選抜差 I/σ_p を選抜強度 (selection intensity) とよぶ (Falconer 1960, Johnson 1979, Mayo 1980, 藤巻 2003)。動物遺伝育種学事典編集委員会編 (2001) 「動物遺伝育種学事典」もこれに従っている。選抜強度はふつう i で表される。

一方, 動物育種の Lerner (1958) は選抜された個体の割合つまり選抜割合 (proportion selected) を選抜強度とよんでいる。Schlegel (2003) による辞典では, これに基づいて記述されている。ただしこの辞典は, 量的形質の遺伝に関しては定義が適切でない用語が多いように見受けられる。日本語の文献では選抜割合と同義の用法が多く採用されている (例えば山田 1974, 岡田 1973, 角田 1977, 1991)。この用法では, 選抜強度は 1 を超えることはなく, またしばしば % 単位で表示される。

このように, 選抜強度に 2 種類の定義が用いられているのは, 混乱をもたらす。選抜強度は「基準化された選抜差」と定義し, 選抜割合の意味で用いるのは避けたほうがよい。正規分布に従う集団では, 選抜強度と選抜割合はたがいに関数関係にあり, 片方から他方を容易に計算できるので, 選抜強度 1.40 (選抜割合 20%) のように, 両者を併記するのが最もよいであろう。

2.5 広義の遺伝率と反復率

品種の不偏分散中における品種分散成分の項の割合を求めて, それを平均あたり反復率 (repeatability on an entry-mean basis) という (下記の式 a)。また式 a において $R=L=Y=1$ とおいた値をプロットあたり反復率 (repeatability on a single-plot basis) という。反復率は形質の環境安定性を表すひとつの指数となる。すなわち,

$$\theta_m = \frac{RLY\sigma_v^2}{\sigma_e^2 + R\sigma_{vly}^2 + RY\sigma_{vly}^2 + RL\sigma_{vy}^2 + RLY\sigma_v^2} \quad (a)$$

プロットあたり反復率

$$\theta_p = \frac{\sigma_v^2}{\sigma_e^2 + \sigma_{vly}^2 + \sigma_{vl}^2 + \sigma_{vy}^2 + \sigma_v^2} \quad (b)$$

ここで, R, L, Y はそれぞれ, 実験に供試した反復数, 場所数, 年次数である。また, $\sigma_e^2, \sigma_{vly}^2, \sigma_{vl}^2, \sigma_{vy}^2, \sigma_v^2$ は, それぞれ, ミクロ環境分散成分, 品種×場所×年次交互作用分散成分, 品種×場所交互作用分散成分, 品種×年次交互作用分散成分, 遺伝分散成分である。 θ_m および θ_p は 0 から 1 の間の値をとる。環境変異がなく, GE 交互作用がないときにはじめて 1 となる。

θ_m または θ_p で表される値を広義の遺伝率として提示している論文が少なくない (Hanson *et al.* 1956, Gravois and Bernhardt 2000) が, 適切とはいえない。広義の遺伝率は, 本来一定のマクロ環境における雑種集団の表現型

分散中の遺伝分散として定義されるべきもので、種々のマクロ環境における品種効果の安定性程度を表す反復率とは厳密に区別されなければならない。

反復率と遺伝率は直接の関係はない。一般に反復率が高い場合には、ミクロ環境分散も遺伝子型×環境交互作用も小さいので、遺伝率も高い。しかし、反復率が低い場合には、遺伝率は必ずしも低くない。反復率が低い場合には、ミクロ環境分散か遺伝子型×環境交互作用（あるいはその両者）が大きい場合である。ミクロ環境分散が大きい場合には、遺伝率は当然低くなるが、ミクロ環境分散は小さく、遺伝子型×環境交互作用が大きい場合には（例、イネやムギ類の出穂期）、反復率が低くても個々のマクロ環境での遺伝率が高い場合がある。

3. 訳語の検討を要する用語

3.1 二面交配

英語の diallel cross という語は 1919 年にデンマークの動物育種学者 J.Schmidt により 2 頭の雄を異なる時期に 2 頭の雌にかけあわせる交配形式にはじめて使われた (Lush 1945)。これは雌の効果と環境変異をできるだけ除くことを目的とした交配形式であった。同じ目的で雄の数を増やした交配計画は polyallel crossing とよばれていた。

Diallel cross という語を植物育種で使ったのは Jinks and Hayman (1953) が最初とされるが、それ以前に不和合性遺伝子の検定のための S 遺伝子を共有する個体間の総当たり交配に対して用いられている (Atwood 1942)。Jinks and Hayman は総当たり交配の意味で用いている。また Yates (1947) は同様の交配計画を all possible reciprocal crosses と述べている。

diallel cross の語はかつて「二面交配法」(赤藤 1958, 西山ら 1958) または「二面交雑法」(松尾 1959) と訳されたことがあったが、上のような由来からすると、原語には二面という意味はないので、適切な訳とはいえない。最近ではふつう「ダイアレル交配」とよばれるようになっている。

3.2 トリソミックス, モノソミックス, ナリソミックス

日本の遺伝育種の教科書ではしばしばトリソミック (三染色体) やモノソミック (一染色体) などの異数体を、それぞれ、トリソミックス (trisomics), モノソミックス (monosomics) と記していることが多い (渡辺 1982, 常脇 1991) が、これらは複数形である。最近の King and Stansfield (2002) や Schlegel (2003) による辞典、あるいは Singh (2003) の教科書をみても、monosomic や trisomic の形、すなわち末尾に s をもたない単数形の名詞が使われている。なお、木原 (1954) や西川 (1980) では単数形が用いられている。異数体の日本語は単数形として「ス」をつけない形 (トリソミック, モノソミック, ナリソミッ

ク) で呼ぶべきと考えられる。

3.3 無対合, 不對合, 非対合, 解対合

Rieger *et al.* (1991) によれば, Randolph (1928) は、減数分裂前期において染色体の対合がまったく認められない場合を asynapsis, 対合はするがパキテン期で離れてしまうような場合を desynapsis とよぶことを提案した。asynapsis は日本語で無接合 (村松 1980) または不對合 (西山 1993), desynapsis は解接合 (村松 1980) または解対合 (西山 1993) とふつうよばれている。しかし田中監修 (1977) 「遺伝学辞典」では asynapsis を無対合, desynapsis を不對合と訳している。渡辺 (1982) はこれに準拠している。一方八杉ら編 (1996) 「岩波 生物学辞典」(第 4 版) では, asynapsis を不對合または非対合, desynapsis を無対合または解対合とよんでいる。このように不對合と無対合の意味が辞典によって大きく混乱している。

desynapsis を無対合と訳するのは語義からして適切ではないであろう。また不對合とまぎらわしい。asynapsis は不對合, desynapsis は解対合と訳すように統一するのがよいと考えられる。

3.4 相互作用と交互作用

生物学では interaction は「相互作用」と訳すが、統計学の世界ではふつう「交互作用」と訳され「相互作用」とはよばない。統計学における「交互作用」は、全効果中で要因の相加的效果だけでは説明しきれない部分に対して名づけられていて、必ずしも生物学的な相互間の作用を意味しない。統計学に準じて、統計遺伝学でも、たとえば non-allelic interaction を非対立遺伝子間交互作用, genotype×environment interaction を遺伝子型×環境交互作用と訳している。

4. まとめ

以上記した項目についての提言の要約を表 1 に示す。ゲノムやシンテニーなどのように分野によって異なった使われ方がされている用語、学問の進展にともないすでに意義を失っているにもかかわらずなお一部には使われている用語、専門家以外には意味の推測もできないカタカナ用語、など検討を要する遺伝・育種学関連用語はほかにもあると思われる。学術用語の乱れは、学問の乱れをもたらす。学会の場で学術用語の定義や用法について十分な討議がなされることを願っている。

引用文献

- 明峰正夫 (1917) “作物育種学” 裳華房, 東京.
 Atwood, S.S. (1942) Oppositional alleles causing cross-incompatibility in *Trifolium repens*. *Genetics* 27: 333–338.
 Bridges, C.B. (1932) Recombination and crossing-over. *Amer. Nat.* 66: 571–574.

表 1. 提言の要約

	用語	提言要約
1. 統一が必要と考えられる用語	1. 交配と交雑 (crossing)	両親の遺伝子型が異なるかけあわせ、とくにかかけあわせの結果得られる子孫の雑種に関心がある場合は交配よりも交雑を用いるべきであろう。交配育種より交雑育種、戻し交配より戻し交雑、単交配より単交雑が適切。いっぽうダイアル交配、無作為交配などでは、かけあわせにおける両親の組み合わせに重点があり、親の遺伝子型が同一である場合も含むので、交雑よりも交配のほうが適切であろう。
	2. 分離育種法と選抜育種法 (selection breeding)	どちらかに用語を統一したほうがよい。分離育種法は、分離の語が segregation の意味と混同されやすい。選抜育種法は、交雑育種法とまぎらわしい感じがあるが、英語の selection breeding に対応しているので、こちらを推奨したい。
	3. 系統分離法 (該当する英語なし)	系統分離法の使用は避ける。単に「他殖性作物における選抜育種法」とすれば充分であろう。
	4. 他殖性植物における集団改良法	名称や定義が統一されてなく、混乱を与えている。学会で専門分野の方々による十分な議論のうえ、統一されることが必要。
	5. 負の選択 (negative selection)	多用されている定義の「集団中に有害な遺伝子が出現したとき、これをもった個体の生存力や妊性がそこなわれ、その遺伝子が集団から除去されること」ではなく、「集団の適応度を低下させるような形質がむしろ選ばれて、結果的に集団の適応度を下げる現象」に限定して用いるべきと考える。
2. 誤用または誤解されがちな用語	1. 組換え価と地図距離 (recombination value vs. map distance)	組換え価は「二重雑種の F ₁ に生じる配偶子中の組換え型の遺伝子型をもつ配偶子の期待頻度」、地図距離は「染色分体当たり乗換え頻度にもとづく染色体上の 2 座間の距離」と定義される。両者を混同しないこと。乗換え価、交叉価、連鎖価などの使用は避ける。
	2. 地図距離と遺伝距離 (map distance vs. genetic distance)	遺伝距離は、集団遺伝学においては、進化上関連がある 2 種類の個体または生物集団間における遺伝的関連性の遠近を表す。染色体上の地図距離の意味で遺伝距離を使用することは避ける。
	3. 細胞質雑種またはサイブリッド (cybrid)	最近の用法では、「細胞融合によって生じた個体一般」ではなく、「非対称融合で供与親の核が完全に脱落し、供与親の細胞質と受容親の核をもつようになった個体」をさす。
	4. 選抜強度と選抜割合 (selection intensity vs. proportion of the population selected)	選抜強度とは、選抜差を表現型値の標準偏差で除して基準化した値であり、選抜された個体の割合つまり選抜割合の意味で使うのは避ける。
	5. 広義の遺伝率と反復率 (heritability in a broad sense vs. repeatability)	広義の遺伝率は、一定のマクロ環境における雑種集団の表現型分散中の遺伝分散として定義されるべきもので、種々のマクロ環境における品種効果の安定性程度を表す反復率とは区別されるべきである。
3. 訳語の検討を要する用語	1. 二面交配 (diallel cross)	英語の diallel には二面の意味は含まれてなく、ダイアル交配とよぶのが妥当であろう。
	2. トリソミックス、モノソミックス、ナリソミックス (trisomics, monosomics, nullisomics)	これらは複数形であるので、単数形としてはトリソミック、モノソミック、ナリソミックとよぶべきである。
	3. 無対合、不對合、非対合、解対合 (asynapsis, desynapsis)	asynapsis は不對合、desynapsis は解対合と訳すように統一するのがよい。非対合や無対合は用いない。
	4. 相互作用と交互作用 (interaction)	生物学では interaction は「相互作用」と訳すが、統計学の世界ではふつう「交互作用」と訳される。

- Chaleff, R.S. (1981) "Genetics of Higher Plants. Application of Cell Culture" Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- 動物遺伝育種学事典編集委員会 (2001) "動物遺伝育種学事典" 朝倉書店, 東京.
- Falconer, D.S. (1960) "Introduction to Quantitative Genetics" Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Fisher, R.A. (1948) A quantitative theory of genetic recombination and chiasma formation. *Biometrics* 4: 1-13.
- 藤巻 宏 (2003) "植物育種原理" 養賢堂, 東京.
- Gravois, K.A. and J.L. Bernhardt (2000) Heritability and genotype $\times$ environment interaction for discolored rice kernels. *Crop Sci.* 40: 314-318.
- Haldane, J.B.S. (1919) The combination of linkage values and the calculation of distances between the loci of linked factors. *J. Genetics* 8: 299-309.
- Haldane, J.B.S. and C.H. Waddington (1931) Inbreeding and linkage. *Genetics* 16: 357-374.
- Hanson, C.H., H.F. Robinson and R.E. Comstock (1956) Biometrical studies of yield in segregating populations of Korean lespedeza. *Agron. J.* 48: 268-272.
- Hartl, D.L. and A.G. Clark (1989) "Principles of Population Genetics" Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- 日向康吉 (1991) 他殖性植物の育種法. 角田重三郎ほか著 "新版植物育種学" 文永堂, 東京. 103-122.
- 日向康吉 (1997) "植物の育種学" 朝倉書店, 東京.
- 日向康吉ら (2001) "植物育種学" 第3版, 文永堂, 東京.
- 池橋 宏 (1996) "植物の遺伝と育種" 養賢堂, 東京.
- Immer, F.R. (1930) Formulae and tables for calculating linkage intensities. *Genetics* 15: 8198.
- Jinks, J.L. and B.I. Hayman (1953) Analysis of diallel crosses. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 27:48-54.
- Johnson, C. (1979) An overview of selection theory and analysis. In "Quantitative Genetic Variation" Thompson, Jr. J.N. and J.M. Thoday (eds.), Academic Press, New York, 111-119.
- 片山義勇 (1956) "作物育種学" 博友社, 東京.
- 木原 均 (1954) 総論. 木原均編著 "小麦の研究" (改著) 養賢堂, 東京, 1-4.
- 木村資生 (1986) "分子進化の中立説" 紀伊国屋書店, 東京.
- King, R.C. and W.D. Stansfield (2002) "A Dictionary of Genetics" (6th ed.) Oxford Univ. Press, Oxford.
- 木谷義明・広野好彦・天野悦夫 (1980) 乗換の遺伝的基礎. "細胞分裂と細胞遺伝" 裳華房, 東京. 471-530.
- Kosambi, D.D. (1944) The estimation of map distance from recombination values. *Ann. Eugenics* 12: 172-175.
- Kuckuck, H., G. Kobabe and G. Wenzel (1985) "Fundamentals of Plant Breeding" Springer-Verlag, Berlin.
- Kuckuck, H., G. Kobabe and G. Wenzel (1987) "植物育種学概説" 足立泰二訳, 講談社, 東京.
- Lerner, I.M. (1958) "The Genetic Basis of Selection" John Wiley and Sons, New York.
- Lush, J.L. (1945) "Animal Breeding Plans" (3rd ed.) Iowa State Univ. Press. Ames, Iowa.
- 松尾孝嶺 (1959) "育種学" 養賢堂, 東京.
- 諸橋徹次・渡辺末吾・鎌田 正・米山寅太郎 (1985) "新漢和辞典" (改訂版) 大修館, 東京.
- 村松幹夫 (1980) 細胞分裂の遺伝的支配. "細胞分裂と細胞遺伝" 裳華房, 東京. 111-163.
- Mayo, O. (1980) "The Theory of Plant Breeding" Clarendon Press, Oxford.
- 望月 昇 (1985) 集団改良と合成品種の理論. 村上寛一監修 "作物育種の理論と方法", 養賢堂, 東京. 16-21.
- 長尾正人 (1956) "育種学大要" (第2次改訂正第2版), 養賢堂, 東京.
- 西尾 剛 (2000) 他殖性植物の育種法. 日向康吉ら著 "植物育種学" 文永堂, 東京. 238-255.
- 西川浩三 (1980) 染色体の数的変異. "細胞分裂と細胞遺伝" 裳華房, 東京. 262-297.
- 西山市三 (1993) "植物細胞遺伝工学" 内田老鶴圃, 東京.
- 西山市三・根井正利・宮司佑三・高杉喜一・飯塚宗夫 (1958) 遺伝学的研究. "日本の大根", 日本学術振興会, 東京. 98-131.
- 野田昭三 (1980) 乗換の染色体的基礎. "細胞分裂と細胞遺伝" 裳華房, 東京. 443-471.
- 岡田育穂 (1973) 選抜理論の実験的照合. *遺伝* 27 (10): 5-9.
- Owen, F.V. (1928) Calculating linkage intensities by product moment correlation. *Genetics* 13: 80-110.
- Peechman, J.M. and D.A. Sleper (1995) "Breeding Field Crops" (4th ed.) Iowa State Univ. Press, Ames.
- Randolph, L.F. (1928) Cornell Univ. Agr. Exp. Mem. 117. (by Rieger 1991)
- Rieger, R., A. Michaelis and M.M. Green (1991) "Glossary of Genetics" (5th ed.) Springer-Verlag, Berlin.
- 酒井寛一 (1952) "植物育種学", 朝倉書店, 東京.
- 赤藤克己 (1958) "育種学汎論", 養賢堂, 東京.
- Schlegel, R.H.J. (2003) "Encyclopedic Dictionary of Plant Breeding and Related Subjects" Haworth Press, New York.
- Singh, R.J. (2003). "Plant Cytogenetics" CRC Press, Boca Raton.
- 新村 出編 (1987) "広辞苑" 第三版 岩波書店, 東京.
- 宗 正雄 (1916) "品種改良論" 日本園芸会, 東京.
- 宗 正雄 (1946) "育種学講義" 光明堂, 東京.
- Sprague, G.F. and S.F. Eberhart (1977) Corn Breeding. In "Corn and Corn Improvement" (2nd ed.) Sprague, G.F. (ed.), Amer. Soc. Agr. Inc., Pub. Wisconsin. 305-362.
- Stevens, W.L. (1939) Tables of the recombination fraction estimated from the product ratio. *J. Genet.* 39: 171-180.
- 鈴木 茂・田中弘敬・山田 実 (1974) 他殖性植物における選抜技術. 松尾孝嶺監修 "育種ハンドブック" 養賢堂, 東京. 528-543.
- 武田和義 (1993) "植物遺伝育種学" 裳華房, 東京.
- 武田元吉・山元皓二 (1991) "育種学入門" 川島書店, 東京.
- 武部 啓・清水信義 (1986) "ヒトの遺伝子マッピング", 講談社サイエンティフィク, 東京.
- Takezaki, Y. (1928) On a new method of computation of the crossover value from F_2 zygotic series. *Japan. J. Genet.* 3: 106-109.
- 田中信徳監修 (1977) "遺伝学辞典" 共立出版, 東京.
- 常脇恒一郎 (1991) 染色体・細胞質の遺伝的操作と育種. 角田重三郎ほか著 "新版植物育種学" 文永堂, 東京. 132-168.
- 角田重三郎 (1977) 植物の生殖と集団遺伝. 角田重三郎ら共著 "植物育種学" 文永堂, 東京. 63-85.
- 角田重三郎 (1991) 集団内における選抜. 角田重三郎ら共著 "新版植物育種学" 文永堂, 東京. 71-78.
- 角田重三郎ら (1991) "新版植物育種学" 角田重三郎ら共著, 文永堂, 東京.
- 寺尾 博 (1931) "植物育種要説" 岩波書店, 東京.
- 鵜飼保雄 (2003) "植物育種学—交雑から遺伝子組換えまで" 東京大学出版会, 東京.
- 渡辺好郎 (1982) "育種における細胞遺伝学" 養賢堂, 東京.

Woodworth, C.M. (1923) Calculation of linkage intensities where duplicate factors are concerned. *Genetics* 8: 106–115.

Wright, S. (1969) “The Theory of Gene Frequencies” Univ. Chicago Press, Chicago.

山田行雄 (1974) 量的形質の遺伝. *遺伝* 28(10): 105–111.

Ott, J. (1987) “ヒト遺伝子リンケージの統計分析—遺伝医学と遺

伝子工学の新展開” 安田徳一訳, ソフトサイエンス社, 東京.

八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆編 (1996) “岩波 生物学辞典” (第4版), 岩波書店, 東京.

Yates, F. (1947) Analysis of data from all possible reciprocal crosses between a set of parental lines. *Heredity* 1: 287–301.