

Special Contribution  
特別寄稿

## 国立遺伝学研究所の70年

# 2 「ゲノム」研究事始め 木原均とパンコムギの祖先探し

飯田 香穂里 *Kaori Iida*

総合研究大学院大学 先端科学研究科 准教授

ゲノムという言葉がドイツ人研究者によって提唱されてから来年で100年。日本でもこの言葉の歴史は長い。「コムギ博士」として知られる木原均は「ゲノム分析」という染色体分析法を1930年に確立し、この方法を用いて、パンコムギの祖先種を発見した。ゲノムから生物の歴史を読み解くという作業は木原の時代も今も変わらない。

「ゲノム」という言葉には、ほぼ100年の歴史がある。最近では「ゲノム編集」「ゲノム医療」など、生命科学の最先端の話題とともに登場することが多いが、「ゲノム (Genom)」は、1920年、まだ遺伝子が何からできているのかもわからない時代にドイツの植物学者 (ハンス・ウィンクラウ) が作った言葉である。

この言葉は、英語読みなら「ジーンーム (genome)」だが、日本では「ゲノム」とドイツ語読みで知られている。この言葉が日本に入ってきたのは、昭和初期。科学の中心地がアメリカではなくドイツだったところに、小麦博士として知られる木原均 (きはらひとし; 1893~1986) が、ドイツ語読みで日本に定着させたためである。

木原は、日本の遺伝学分野の発展に大きく貢献した研究者で、1930~50年代ごろ、海外で最もよく知られていた日本の遺伝学者だったといっただろう。京都帝国大学農学部農林生物学科に新設された実験遺伝学講座を教授として約30年間牽引し (1927~1956年)、その後、国立遺伝学研究所所長を14年間務めた (1955~1969年)。木原の

活動範囲は広く、その研究も研究室にとどまらない。木原の時代には海外渡航が容易ではない (あるいは、不可能な) 時期も長くあったが、植物調査のための海外探検に計5回 (内蒙古, カラコルム・ヒンズークシ, シッキム・アッサム, コーカサス, 南米スリナム) 出かけている。さらに、学術界以外でも木原はさまざまな顔を持ち、たとえば、冬季オリンピックの日本選手団団長を2回 (1960, 1964年) 務めている。木原の最初の著作物の一つである本のタイトルは『最新スキー術』



木原博士の研究テーマだったコムギのイメージ

(Photo by Polina Rytova)



図1 ドイツ留学中(1925-27)の木原均

カール・コレンスの実験室にて

(木原ゆり子氏所蔵)

(1919年；遠藤吉三郎との共著)。ドイツ留学中の1926年、国際スキー連盟に木原が日本代表として参加し、それにより日本は正式加盟したという(図1)。

さて、「ゲノム」の話に戻ろう。1930年、木原は染色体を分析する新しい研究手法を確立した<sup>注1)</sup>。ウィンクラーの「ゲノム」という言葉を用いて、この方法を「ゲノム分析」と名づけ、その後、コムギ属とその近縁各種の染色体構成を次から次へと明らかにした。木原のゲノム分析の成果で最もよく知られているのが、パンの原料であるパンコムギの祖先の発見である(1944年)。

この発見を学術的に位置づけると、「倍数性の進化の研究」の一つとして見ることができる。20世紀前半の日本は倍数性の分野では世界のトップクラスだったといつてよいだろう。体細胞の染色

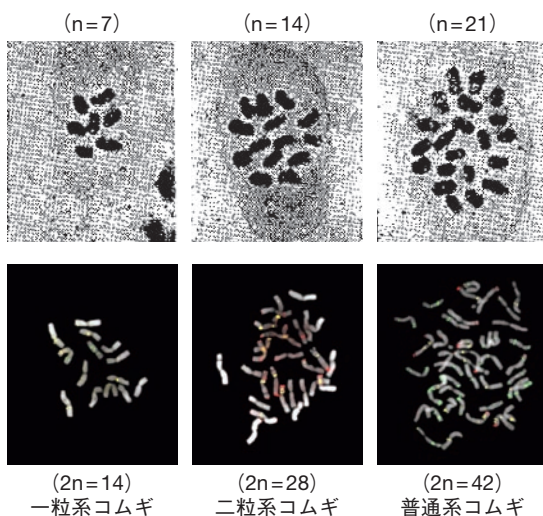


図2 コムギ3系統の染色体

上段：生殖細胞の染色体(n)；木原の顕微鏡写真(『小麦：一生物学者の記録』<sup>4)</sup> p.14より)

下段：体細胞の染色体(2n)；蛍光物質による可視化；左から *Triticum monococcum*, *T. dicoccum*, *T. aestivum* [原図：村田和樹、那須田周平(京都大学)]

体数は通常2倍体で2nと表される。精子や卵子の生殖細胞の染色体数は半数(n)であり、受精すると2nになる。このように生物は2nとnの段階を繰り返して世代を重ねていく。これが染色体数の基本である。しかし、特に植物では、2倍体より多い染色体数を持つことがあり、4倍体(4n)、6倍体(6n)などが存在する。これを倍数性という。

倍数性の初期の発見で有名なものにキク属があげられる。1915年に、田原正人(のちに東北帝国大学教授)が、キク属の染色体数は9の倍数( $n=9$ )であることを明らかにした。シュンギクは18本( $2n=18$ ;2倍体)、フランスギクで36本( $4n=36$ ;4倍体)、コハマギクでは90本( $10n=90$ ;10倍体)にもなる。田原の報告の3年後の1918年に、木原の北海道帝国大学時代の先輩である坂村徹(当時大学院生)がコムギ属も倍数性を示すことを発見する。コムギ類はその形態の違いから3系統(一粒系コムギ、二粒系コムギ、普通系コムギ)に分けられていたが、実はそれぞれの染色体数が7の

注1) 現在の定義では、ゲノムとは遺伝情報を指し、染色体はその情報の乗り物である生体物質を指す。木原の時代には情報の正体がどのような性質のものかわからなかったが、木原が学部時代に染色体について初めて学んだ時も、染色体は「遺伝物質の運搬者」と習っており、概念的に今と大きくは変わらない。



倍数 ( $n=7$ ) ——一粒系コムギが2倍体 ( $2n=14$ ), 二粒系コムギが4倍体 ( $4n=28$ ), 普通系コムギが6倍体 ( $6n=42$ ) ——であると明らかにしたのだった(図2)(ちなみに、パスタに使われるデュラムコムギは二粒系コムギ, パンコムギは普通系コムギである)。

これはコムギ界にとって一大発見だった。ところが、その重要な発見がなされた年に、坂村は教授(北海道帝国大学)に抜擢され、欧米留学に急遽行くことになってしまった。欧米留学は当時教授になるための条件だった。そのためにコムギ研究を断念せざるを得ず、貴重な研究材料を大学卒業したての木原に託すことになる。

出発前の坂村に簡単な細胞遺伝学の手ほどきを受けた木原は、その後研究者として目覚ましい成長をとげる。まもなく木原も京都帝国大学の教授に昇任することになり、1925年に、メンデル法則の「再発見」で有名なカール・コレンス(ベルリンのカイザー・ウィルヘルム生物学研究所)のもとに二年間留学する。

1927年に帰国するやいなや、日本植物学会で小麦の進化についての仮説を発表する。このときまでに、木原はコムギ3系統の「染色体組」には3種類あるとしていた。ここでいう染色体組とは、コムギ染色体半数(7本)を一組としたものである。それぞれの組にA, B, Dと記号をつけ、一粒系コムギ(2倍体)の染色体構成はAA(=7本の染色体組「A」を二つ持つ)、二粒系コムギ(4倍体)はAABB, 普通系コムギ(6倍体)はAABBDDであるとしていた。

注目すべきは、これら3系統が単に「異なる」というだけでなく、デンマークのオイヴィン・ウィング(*Øjvind Winge*)の説に基づき3系統が順に進化してきたという仮説を上記の講演で展開したことである。ウィングは、田原の菊の倍数性のデータをもとに、染色体数が倍化や交雑により増え、倍数性植物が進化していくという(理論上の)仮説を立てていた。それに沿って考えれば、二粒系コムギ(AABB)は、一粒系コムギ(AA)と染色体

組「BB」を持つ(未知の)植物の交雑種であり、パンコムギを含む普通系コムギ(AABBDD)は、二粒系コムギ(AABB)と染色体組「DD」を持つ(未知の)植物の交雑種である。1927年の講演では、BB種はすでに絶滅している可能性があるが、パンコムギが栽培され始めたのが比較的最近であるため、DD種はまだ存在しているだろうと論じた。このDD種こそが、木原がのちに発見する「パンコムギの祖先」である(図3)。

染色体分析の考えが木原の中でより明確になってきたころ、フロラ・リリエンフェルトが来日する。リリエンフェルトは、木原と同時期にコレンスのもとに留学していたポーランド出身の女性研究者である。ポーランドで安定した職を見つかることができず、木原から京都帝大の職(講師)のオファーを受け1929年来日した。

リリエンフェルトが来てすぐに、木原はこれまでの研究手法に「ゲノム分析」(独: Genomanalyse)という名をつけ、論文を発表する。「ゲノム Genom」は、染色体の半数を指す言葉として、この10年ほど前にウィンクラーが提唱したものだった[Genomは、Gen(遺伝子)とChromosom(染色体)の2語を合わせた造語]。コムギ染色体半数の7本を1セットと捉え、これまでこれを「染色体組」とよんでいたが、ここから「ゲノム」とよぶようになる。

ゲノム分析の中心は交雑種である。異なる種類の植物同士を交雑し、種間雑種の減数分裂期に、それぞれの親由来の染色体が対になるか、ならないかを顕微鏡下で観察する。通常同種同士であれば、互いに相同の染色体が接合するため、すべての染色体が対をなす。しかし雑種の場合、対になるもの(二価染色体)とそうでないもの(一価染色体)が出てくる。ゲノム分析では、こういった染色体の行動観察により、ゲノムが交雑種間で相同か非同種かを決定し、それぞれのゲノム構成を明らかにしていく(図4)。

以降、木原の研究室メンバーは、コムギ属と近縁種(エギロプス属)のゲノム分析に注力する。

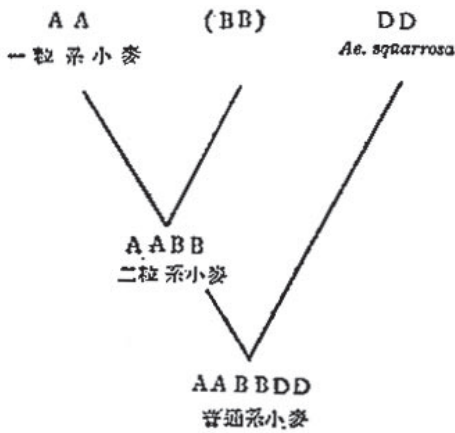


図3 コムギ3系統の進化

左：木原(1944)の図の一部。DD種がタルホコムギ (*Aegilops squarrosa*)，BB種は不明・絶滅とされている。なお、タルホコムギの学名は木原の時代は *Ae. squarrosa* だったが、現在では *Ae. tauschii* が用いられることが多い。

右：現在では、Bゲノムをもたらした種に最も近縁な現生植物はクサビコムギ (*Ae. speltoides*) であるとされている。黄色の点線で囲った部分が特に木原の仕事と関係のある部分。横浜市立大学木原生物学研究所 木原記念室の展示パネル図。[原図：松岡由浩(福井県立大学)]

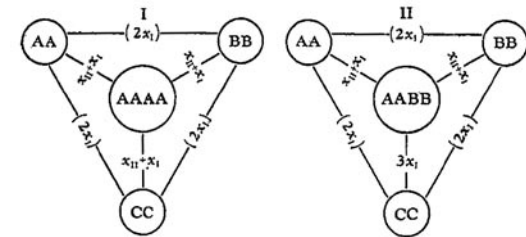
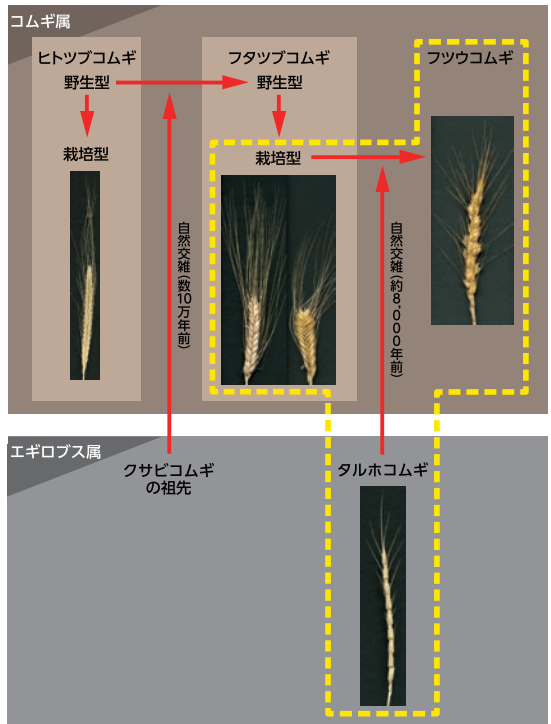


図4 木原のゲノム分析模式図

交雑試験の各組合せにおいて一価染色体 ( $X_i$ ) と二価染色体 ( $X_{ij}$ ) の数を決め、ゲノム構成を決めていく。

(『小麦：一生物学者の記録』<sup>4)</sup> p.143より；原図：Kihara (1930)<sup>1)</sup>)

しかし、ゲノム分析論文のシリーズ第一報が出版された翌年に満州事変、7年後には日中戦争が勃発。戦時下では「役に立つ研究」がより求められるようになり、木原は特に倍数性を活かした育種プロジェクト(甜菜, サトウキビ, 綿花, 大麦など)を展開することで、研究室の維持・拡大を図っていく。1942年という難しい時期に、木原生物学研究所(現横浜市立大学)を設立できたのもそういつ

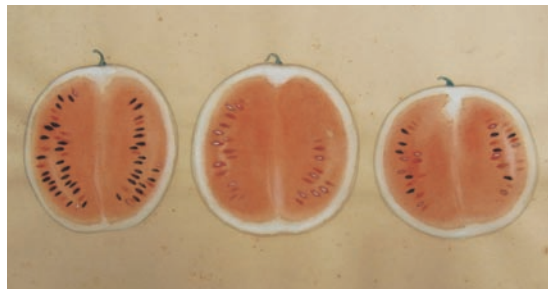


図5 倍数性を応用した種なしスイカ

左から、2倍体、3倍体、4倍体 (木原ゆり子氏所蔵)

たプロジェクトを展開して、関連企業から支援を受けることができたからである。ちなみに、3倍体の種なしスイカも木原のチームによってこの時期に研究開発された(図5)。

一方で、パンコムギの祖先に関する研究も少しずつ進め、1943年、これまでのゲノム分析と形態学的分析からDD種はタルホコムギであるという結論に達した。1943年帝国学士院から恩賜賞

特別  
寄稿

を受賞した際にその受賞講演で初めてタルホコムギについて発表し、1944年に日本語で短報を出版した(図3)。帝国学士院が受賞講演を1943年に印刷する予定だったのだが、戦時の混乱で原稿は紛失し印刷に至らなかった。

敗戦後、木原の戦時中の研究内容を調査するため、GHQのオフィサー(小麦の専門家)が木原の研究室にやってきた。そのときに、木原の短報出版年と同じ1944年にアメリカの研究グループもパンコムギの祖先はタルホコムギであるという結論を発表していたことを知る。これは木原にとって驚きのニュースだった。木原の分析の正しさが証明されたという面ではうれしくもあっただろうが、科学の世界は誰が最初に発見したかが重要であり、非常に口惜しいものであったはずである。敗戦直後という文脈、日本語の短報での発表などを考えれば、木原の方がプライオリティを主張する上で圧倒的に不利な状況にあったと思われるが、現在では、パンコムギの祖先は、木原と米国のマックファデン&シアーズの同時発見として知られている。また、シアーズらは、タルホコムギのゲノム記号を「C」で表していたが、木原に敬意を払い、のちに「D」に改める(よって、パンコムギのゲノム表記はAABBCCではなくAABBDDとなっている)。これも戦中～戦後の孤立・混乱の時期を経ても忘れ去られることのなかった木原の存在感

の大きさを表しているといえるだろう。

「地球の歴史は地層に、生物の歴史は染色体に記されてある」。木原がこの言葉のもととなった表現を書き記したのは1947年<sup>3)</sup>。その後、分子生物学の時代が到来。今や、一般にいわれるゲノムは遺伝情報の総体を指し、ゲノム配列の解読もあつという間にできる時代になったが、木原のこの言葉は今日でも古さを感じさせない。ゲノムは今後もしばらく人類を含むあらゆる生物の歴史を探る情報源であり続けるだろう。

[文献]

- 1) Kihara, H. Genomanalyse bei Triticum und Aegilops. *Cytologia* **1**, 263-284 (1930).
- 2) 木原均, 普通小麦の一祖先たるDD分析種の発見(豫報)農業及園芸**19(10)**, 13-14 (1944).
- 3) 木原均, 小麦の祖先(創元社, 1947).
- 4) 木原均, 小麦——生物学者の記録(中央公論社, 1951).



飯田 香穂里 Kaori Iida

総合研究大学院大学 先端科学研究科 准教授

2005年、マウスを使った研究で遺伝学博士(ペンシルバニア州立大学)取得。その後、科学技術史分野で、日本の遺伝学史、たばこ産業の歴史について論文を出版。2010年、総合研究大学院大学 先端科学研究科 助教。講師を経て、2016年より現職。2012年、科学技術史博士(ジョンズ・ホプキンス大学)取得。