キンギョ *Carassius auratus auratus* の遺伝学,新品種の作出についての一考察

A Study on the Genetics of Carassius auratus auratus, and the Development of New Varieties

中３－Ｃ－１９　中瀬古　瑛斗

NAKASEKO. Eito

目次

動機と目的

第１章 キンギョについて
　第１節 キンギョの歴史
　第２節 キンギョの特性・種類
　第３節 全ゲノム重複について
　第４節 シュブンキンについて

第２章 キンギョの繁殖方法について
　第１節 自然採卵法について
　第２節 人工授精法について

第３章 新品種の作出について
　第１節 作出理由
　第２節 どのようなキンギョを作出するか
　第３節 作出後の展望

第４章 新品種の作出方法
　第１説 全透明鱗のキンギョの作出方法とその考察
　第２節 仮説の実験
　第３節 実験結果

第５章 研究後の結論・今後の展望

第６章 謝辞

第７章 参考文献

動機と目的

まず、私がこのテーマについて研究しようと考えた理由を説明したい。私は,小学 3 年生の頃からキンギョに興味を持っていた。小学 4 年生になる頃には人工授精法による繁殖に成功するようになった。その際に,遺伝について興味を持ち,研究をしたいと長らく考えていた。奈良学園を志望し,入学してきたわけは,自然豊かな環境と,金魚三大名産地のうちの 1 つに数えられる大和郡山市にその土地を有していたからだ。またキンギョのみならず,両生類や昆虫,爬虫類などの生物全般に興味を持っていたため,科学部の生物班や,矢田の丘里山探求クラブにも自ら入部した。中学 3 年生になると課題研究 jr というものがあると知り,夢に見ていたキンギョの研究をしたいと考えた。中学 3 年生の生物の授業で,メンデルの法則や,潜性と顕性について知り,これを是非ともキンギョで調べようと考えた。そして,昔からキンギョの新しい品種を作ることを夢見ていたので,この機会を自分の夢にも繋げようと考えたのだ。最近は金魚業界は衰退してきているので,若い世代の人々にもキンギョの魅力を知ってもらい,興味を持っていただくためにもこの研究が必要であると考えた。また,先ほど述べたように,奈良学園は大和郡山市にある学校であるので,この研究がぴったりだと考えた。余談だが私は最近,金魚フェス 2025 in 大和郡山の品評会で三匹入賞を頂き,そのうちの一匹は準優勝という結果を頂いた。このこともより私の金魚への興味の関心度を深めた。

第1章 キンギョについて

第 1 項 キンギョの歴史

さて,キンギョの事を深く知ってもらう前に先にキンギョの歴史について少しばかり知って頂きたい。皆様はキンギョが日本の魚で無いことはご存知だろうか。キンギョは今から約 2000 年前,中国南部地方で野生のフナ(ギベリオブナ　学名 *Carassius gibelio*)の中から赤色のものが見つかり,それを基として作られた魚である。1502 年（文亀 2 年）に日本（大阪）へやってきた。よって,キンギョは実は中国出身の魚なのである。また,当時は貴族などの位の高い人々でしか飼うことはできない高級品であり,庶民の間でも親しまれるようになったのは明治からである。我が町,大和郡山市における金魚養殖の由来は,享保 9 年(1724 年)に柳澤吉里侯が甲斐の国(山梨県)から大和郡山へ来た頃である。幕末の頃は,藩士の副業。明治維新後は,職禄を失った藩士や農家の副業と

して盛んに行われるようになった。また大和郡山市には農業用溜池が多かった事も理由として挙げられる。そして今世までキンギョは受け継がれてきたのである。（参考文献１・２）

第２項 キンギョの特性・種類

皆様はキンギョといえばどのような魚を思い浮かべられるだろうか。縁日の金魚すくいでたくさん泳いでいる小さな赤い魚を思い浮かべる人が多いのではなかろうか。我が校がある町，「金魚が泳ぐ城下町」で有名な大和郡山市では，その名の通り古くからキンギョの養殖が盛んで，金魚三大名産地の一つに数えられている。だが，大和郡山の生産する主なキンギョは，小赤や姉金と呼ばれる，金魚すくいや肉食魚などの餌として使われるあの赤い小さな魚なのである。よって，皆様はあまり多くの種類のキンギョをご存知では無いのでなかろうか。ここで一つ申し上げると，実はキンギョは赤色のみならず白色や黒色，鮒色，黄色，金色，銀色，青色，橙色，透明，更紗(赤と白のまだら模様)，キャリコ(赤，白，黒，浅葱の四色が入り混じったまだら模様)などたくさんの体色がある。下図を見て分かるように，たくさんの鱗型や体色，尾形，特徴，体型を有する者たちがいるのだ。そして，先程述べた通りキンギョの祖先はフナであるということが分かるだろう。現在日本には50種類以上のキンギョがいると言われている。（参考文献７）

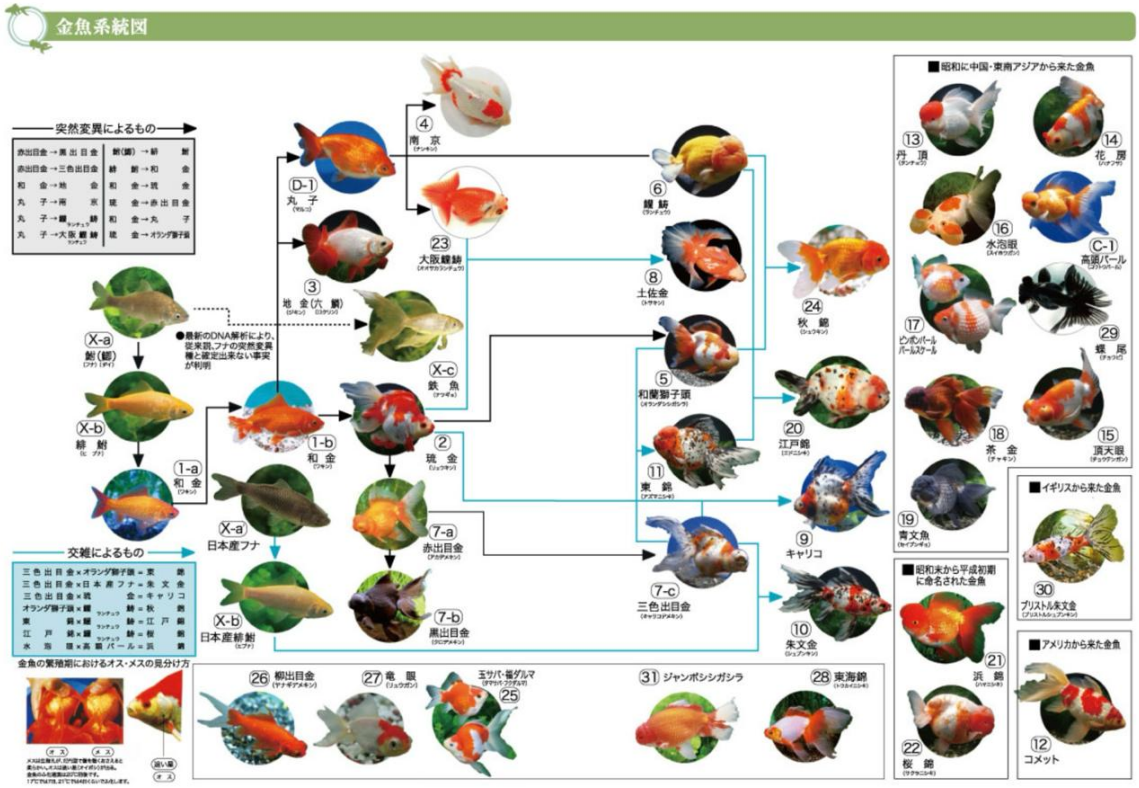
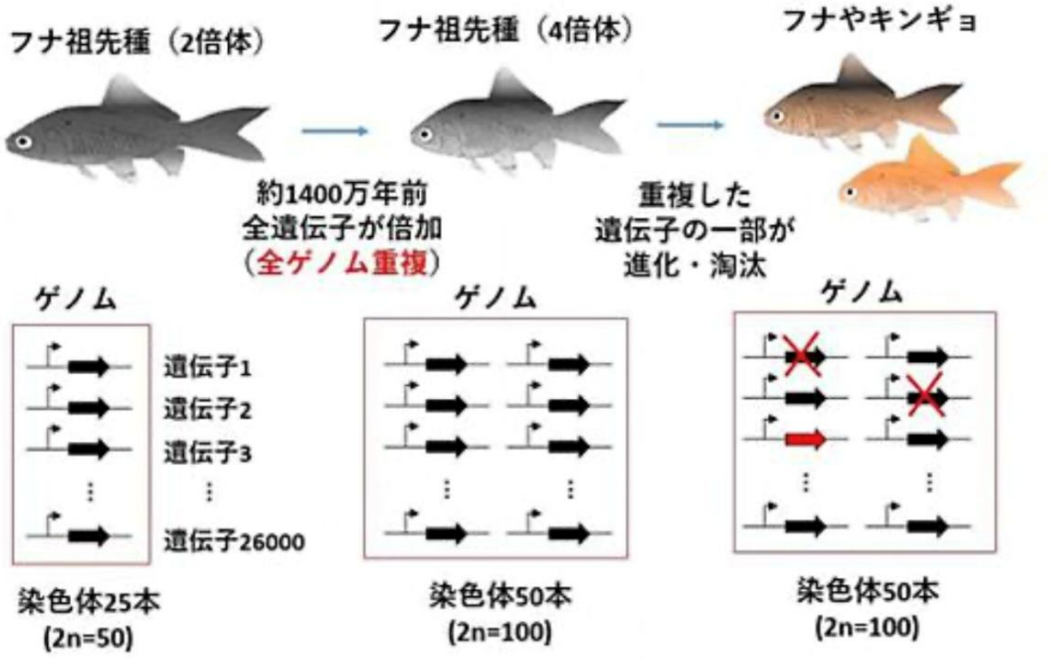


Fig1. キンギョの系統

引用元 金魚の系統／大和郡山市　https://share.google/D7NKd7005UV6ZgW96

第３項 全ゲノム重複

キンギョの品種がたくさんあるワケの一つに「全ゲノム重複」というものがある。全ゲノム重複とは,細胞分裂の異常な過程で染色体が倍加することによって起こる現象で,金魚の全ゲノムは約 18 億塩基対で約 7 万個の遺伝子を有している(ヒトが約 32 億塩基対)金魚の祖先の全ゲノム重複は約 1400 万年前に起こった。また,約 18 億塩基対というのは一般魚類の二倍のサイズなのだ。



キンギョとフナの祖先種での全ゲノム重複と進化

キンギョやフナの祖先種では,約 1400 万年前に全ゲノム重複が起こり,遺伝子が一般の魚類の 2 倍となった。その後,倍加した遺伝子の一部は進化・淘汰されている。その変遷の様子が今回のゲノム解読により明らかとなった。（提供・大阪大学）

Fig2. キンギョの全ゲノム重複

引用元 キンギョの祖先は 1400 万年前に遺伝子が倍になり進化の原動力になった 阪大グループがゲノム解読 Science Portal 科学技術の最新情報サイトサイエンスポータル https://share.google/tOUkf5UmPhEgP1tCV

しかし,何故ゲノムが倍加する事により,種類が増えるのだろうか。それは遺伝的冗長性によるものである。遺伝的冗長性とは生物のゲノム内に,機能的に重複したり,非常に似た機能を果たしたりする複数の遺伝子が存在する状態を指

す。つまり同じ役割を果たす予備の遺伝子が二つあるということである。この働きがある事によってロバストネスを高め,必須の機能を担う遺伝子がエラーにより,機能不全に陥っても,重複しているもう一つの遺伝子がその役割を肩代わりするので,生命活動を維持できるということだ。この遺伝子の冗長性は,発生や代謝経路などの生命維持に不可欠なプロセスなどを担う遺伝子に多く存在することが分かっている。これにより,突然変異などの奇形を作るようなことが起こり,遺伝子の一つが機能不全を起こすようなことがあっても,もう一つの遺伝子が同じ働きをするので,生命活動が停止することはないのである。また,遺伝子の冗長性は進化をする上においても重要な働きを担っている。遺伝子の一方が,生命維持に必要な基本機能を担っているとき,もう一つの遺伝子は機能不全を恐れずに変異を蓄積することが可能となるためである。このようにして,キンギョに多様な種類が存在するのは,全ゲノム重複が関係しているといえる。(参考文献３・４・５・６・８)

第４項 シュブンキンについて

さて,キンギョの前提として知っておいて欲しいことについてはおおよそ解説したため,本研究で主役となった金魚の紹介をしよう。シュブンキンは,初代秋山吉五郎氏が作出し,松原新之助が命名した金魚で,フナ尾の和金,ヒブナ,キャリコ出目金を混在して,自由交配させたときに出来た品種とされている。元来のシュブンキンは体色が赤,浅葱,墨で表現されている。私は小学生の頃,この金魚を図鑑で初めて見た時に衝撃を受けたのだ。絹の糸のように美しく長い尾に,まるでこの世の綺麗な色を全て詰め込んだような体色を持つ魚。最大体長は 30cm を超えるものまでいる。最近では,墨だけを残した墨シュブンキンや,浅葱だけを残した青錦,ハート尾という尾を持つブリストルシュブンキンなど,単にシュブンキンと言えども数え切れないほどの種類がある。

第2章 キンギョの繁殖方法について

第１項 自然採卵法について

自然採卵法とは,放置して卵を産ませる方法である。メリットはビギナーにも簡単に挑戦できることや,管理しやすい数の卵を採る事ができる事だ。デメリットは受精率が高くないことや,気付かぬうちに親魚が食べる恐れがあることだ。他には水槽が汚れやすいなどが挙げられる。

第 2 項 人工授精法について

人工授精法とは,親魚の腹を軽く絞り,人工的に受精させる事だ。メリットは,受精率が高く,水槽も汚れにくいことや,数も多く採れることで,デメリットは,親魚によっては卵が採れ過ぎてしまうことや,ビギナーは,魚を傷つけてしまいかねない事だ。また土佐金などの泳ぎが苦手な金魚を繁殖させやすいなどが挙げられる。ただし,繁殖行動(追尾)などが見られた時に行うのが基本だ。

第 3 章 新品種の作出について

第 1 項 作出理由

キンギョは一般的に全透明鱗のものは「ハネ」とされ,選別過程において淘汰されてきた。そこでその考えを覆す様な,可憐で綺麗なキンギョを作出したいと考えた。また,本校は金魚三大名産地である大和郡山市にあるため,金魚の資料を多く得られると考えた。

第 2 項 どのようなキンギョを作出するか

先程申し上げたように,私は透明鱗のキンギョを作り上げたい。しかし透明鱗にも三つもの種類がある。モザイク透明鱗,網透明鱗,全透明鱗である。私が作りたいキンギョは全透明鱗の浅葱色といい,青みがかったキンギョを作りたい。全透明鱗のキンギョは潜性遺伝子であるため,品種として固定するには全透明鱗性の親魚同士を掛け合わせる必要性がある。このようなキンギョを青錦と呼ぶのだが,この品種とは別に同じような特徴を持ったキンギョを作ることにする。この品種の固定が完成したら,水泡や出目,肉瘤を持つこのカラーの金魚を作りたい。また吹き流し尾の尾が長いものを選別し,交配させる。全透明鱗のキンギョの特徴なのだが,虹彩や鰓蓋などの虹彩素胞が欠損しているため,虹彩が黒くなり黒目(ブドウ眼)になり,鰓蓋がピンク色になることが多いのだがとても愛らしい。この美しさを人々に知っていただきたい。青いキンギョを作るためには,黒色素胞を透けさせて,青く見せる必要がある。このことからもやはり,全透明鱗性のキンギョである必要があるだろう。もう少し具体的に作出したいキンギョの構想を練ってみる。特徴は,尾が吹き流し尾で長く,体色は主に青で墨(黒い部分)が体の所々に目がブドウ目でエラがピンクのキンギョを作る。

第 3 項 作出後の展望

作出後は,品評会(例えば金魚日本一大会など,多くの金魚関係者の皆様が集

まる場)で,発表することによって広める事が出来るかもしれない。キンギョの新品種を作出した学校というSSHの宣伝が出来ると考えられる。

第４章 新品種の作出方法とその考察

第１項 全透明鱗のキンギョを作出する方法

キンギョの鱗に,メンデルの法則が通用すると仮定する。普通鱗をAA, モザイク透明鱗をAa,全透明鱗をaaとする。モザイク透明鱗同士を掛け合わせた場合メンデルの法則により,普通鱗:モザイク透明鱗:全透明鱗＝AA:Aa:aa＝1:2:1となり,普通鱗が25%,モザイク透明鱗が50%,そして全透明鱗のキンギョは25%の確率で生まれる。

表１.モザイク透明鱗同士を掛け合わせた場合のメンデルの法則の様子

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

この場合,全透明鱗が生まれる確立は少ないのでもう一つの場合を考える。そして上図で考えると、全透明鱗同士を掛け合わせた場合は,aaが100 %となる。このことより,全透明鱗同士で掛け合わせると,新品種を作出しやすいといえる。しかし,本実験ではメンデルの法則の立証性についても調査したいので,モザイク透明鱗のものとモザイク透明鱗のものでかけあわせる。この場合,先ほど述べた通り,全透明鱗のものとモザイク透明鱗のもの,普通鱗がAA:Aa:aa＝1:2:1となると予測する。

第２項 仮説の実験

第３章で述べたようにモザイク透明鱗のシュブンキンとモザイク透明鱗のシュブンキンをかけあわせた。人工授精法で採卵を行った。採卵に用いたものは洗面器,敷巣,魚巣のみである。本来はリンゲル液やホルモン注射を行う場合もあるのだが用意できなかったので,この道具のみで行う。2024年12月27日午後11時頃に追尾行動が確認された。12月28日午前5時に産卵行動が確認されたので,人工授精を行った。３日程で孵化が始まった。孵化１週間後,ブライン

シュリンプ(幼生)と春黄金を与えた。約一ヶ月後体色が識別可能となった。



Fig３.生後二週間の様子



Fig４.生後二ヶ月の様子

第３項 実験結果

二ヶ月後観測を行った。全透明鱗が 232 匹,モザイク透明鱗が 475 匹,普通鱗が 225 匹という結果が出た。無精卵や,途中で死んでしまった稚魚もいるのでズレはあるが,普通鱗:モザイク透明鱗:全透明鱗＝1:2:1 となるという仮説はおおよそ間違っていなかったといえる。このことにより,メンデルの法則が金魚の鱗の表現に通用することが言えた。そして,私の作りたかったようなキンギョは 15 匹程生まれた。比較的,私の理想通りのキンギョを作出できた。



Fig５. 個体１の上見



Fig. ６個体１の横見の様子

この個体は完成形であると言っていいだろう。尾が吹き流し尾で長く,体色は主に青で墨(黒い部分)が体の所々に目がブドウ目でエラがピンクの金魚を作るという目標を全て達している。室内飼育なので浅葱が薄いが,外飼いすれば青は濃くなるだろう。今後の成長が楽しみである。



Fig７.個体２の上見



Fig８.横見の様子

この個体は個体１と比べて尾が短くハート型だ。また,墨が体の全体に散らばっている。その他の特徴は全て満たしている。このような個体も魅力的だ。

第５章 研究後の結論・今後の展望

今回の研究で,メンデルの法則がキンギョの鱗の体色におおよそ通用することが分かった。そして,吹き流し尾と透明鱗は潜性であることも判明した。同腹の仔でも様々な特徴を持ったものが生まれたので,キンギョの遺伝はやはり興味深いものである。今回の研究ではモザイク透明鱗同士での掛け合わせの実験であったが,メンデルの法則がキンギョの鱗の体色に通用することが分かったので,今後は普通鱗と全透明鱗を掛け合わせて生まれてくる仔が全てモザイク透明鱗になるのかという実験を行いたい。

表２.全透明鱗と普通鱗を掛け合わせた場合のメンデルの法則の様子

	A	A
a	Aa	Aa
a	Aa	Aa

また,新品種の作出については,まだ完全に品種を固定化できたわけではないので,個体１や個体２のようなものらを掛け合わせ,品種として確立していきたい。これからは本稿より発展した遺伝の研究(主に潜性・顕性など)をしていきたい。青いキンギョはまだ市場にあまり出回っていないので品評会への出品も考えている。このような機会で様々な人々に是非キンギョの魅力を知って頂きたいものである。

第６章 謝辞

まず,本稿の制作に当たり奈良学園中学校高等学校の奥本恵先生,原孝博先生に助言や,添削指導など多岐に渡るご指導を承った。NAIST STELLA PROGRAM 及び,奈良先端技術大学院大学遺伝子発現制御研究室の別所康全先生にも様々な助言を頂いた。日本オランダ獅子頭愛好会会長の中嶋一誠様には遺伝の情報を頂いた。NONAMI GOLDFISH FARM もとい,私の師匠である野浪浩様には,金魚の提供,研究道具の提供など日頃から多大な協力を頂いた。また,金魚専門店 AQUASHOP 悟空の坂尾祐樹代表には金魚の提供をして頂いた。その他にも金魚の品評会などで情報提供してくださった方,本稿の助言をして下さった方達にこの場を借りて心から御礼申し上げる。

第７章 参考文献

参考文献１.金魚の伝来とブーム |NDL イメージバンク | 国立国会図書館サーチ
https://share.google/Qtrwy80fcu1VTa58Z

参考文献２.野中幸宏　なぜ日本人は金魚好きなのか!?　室町時代から 500 年間の歴史と文化を読み解く
https://share.google/IIUf0HUtUR273qy2H

参考文献３.国立遺伝学研究所 キンギョの全ゲノム解読により脊椎動物の進化の謎に迫る新型次世代 DNA シーケンサーを使って全ゲノム重複と進化の謎解明に道筋
https://share.google/eBoqk1xGhFTssXn2n

参考文献４.大阪大学 キンギョの全ゲノム解読により脊椎動物の進化の謎に迫る
https://share.google/IGT3e9qcEPamSkOCM

参考文献５.Bibgraph 遺伝的冗長性：古い遺伝子の新しいトリック
Ran Kafri, Michael Springer, Yitzhak Pimple,
https://share.google/1NHMFm3BAftP6Tv9I

参考文献６.Science portal キンギョの祖先は1400万年前に遺伝子が倍になり進化の原動力になった 阪大グループがゲノム解読 | Science Portal - 科学技術の最新情報サイト「サイエンスポータル」
https://share.google/tOUkf5UmPhEgP1tCV

参考文献７.金魚の系統／大和郡山市
https://share.google/D7NKd7005UV6ZgW96

参考文献８.KAKEN database 生物における遺伝的冗長性に関する理論的研究 舘田 英典
https://share.google/XhrpDCXj4dZKxHIsE