



# 染色体機能学分野

助教（研究室主催者）  
本田信治



染色体機能学分野は2016年に生命情報医科学講座内に新設され、福井大学のテニュアトラック制度（※）により2012年に研究主宰者として赴任した本田がテニュア審査を経て、本分野を運営しています。（※）日本のテニュアトラック制度は、若手研究者が自立して研究活動に専念できる環境で経験を積む仕組み

## はじめに

当研究室では「1 遺伝子・1 酵素説」で有名なアカパンカビの利点を活かして、ユニークな研究を展開しています。この研究室リレーではアカパンカビの歴史、不思議な特徴、生物界の非常識を紹介します。

## パンに生える赤いカビはアカパンカビではない

「アカパンカビ」の名前から「パンに生える赤いカビ」を想像しますが、実は間違いです。アカパンカビはオレンジ色（人参の色）で、これは光応答してカロテノイドを合成するからです。また、インドネシアではオンチョム（oncom）と呼ばれるオカラをアカパンカビで発酵させた伝統食品があり、食べられます。



光応答で  
オレンジ色に



オンチョム  
(Wikimedia から)

## なぜ、アカパンカビという名前になったの？

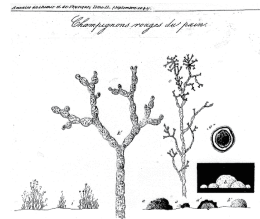
アカパンカビをモデル生物として構築した Bernard Dodge (1872-1960) が間違って red bread mold と名付けたからです。最近では、Stanford 大学の David Perkins (1919-2007) が、red bread mold は不適切な名前として周知し、海外では属名（学名）の Neurospora と呼ぶことになっています。日本では学名をほぼ利用していないため、間違った和名のアカパンカビで定着したままになっています。



Bernard Dodge

## アカパンカビが最初に歴史に刻まれたのはいつ？

1842年にフランス軍のパン工場でオレンジ色のカビが大発生しました。王政府がこの事件をテロとして疑い、Minister of War に徹底的な調査を指令しました。その調査結果が1843年に報告され、アカパンカビが初めてその原因として歴史に刻まれました（以前にも怪奇現象として記載されていたが、正式なものはこのときが初めて）。



## なぜ、アカパンカビが大発生したの？

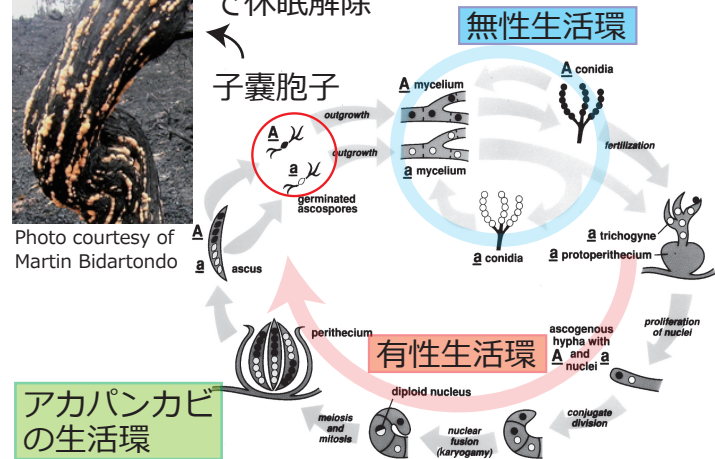
アカパンカビは、自然界において山火事やサトウキビなどの焼き畑の後に目撃されます。これは、アカパンカビの子嚢胞子と呼ばれる形態が山火事が起きるまで休眠し、山火事が発生すると他の生物が絶滅（また、アカパンカビの他の形態も死滅）する熱に耐え、休眠を解除して大繁殖するからです。もう少し詳しく言うと、アカパンカビは他の生物と競争し、生存に不利な環境（低栄養、低温、低酸素）になると、無性生活環から有性生活環に移行し、半不老不死な子嚢胞子となって休眠し、火事によって敵対する生命が死滅する好環境を待つ不思議な生存戦略を有するからです。話を戻しますと、フランス軍のパン工場での大発生の原因は、コンタミした子嚢胞子がパンを焼く熱で休眠が解除されて大繁殖したからだと考えられています。



Photo courtesy of Martin Bidartondo

山火事の熱で休眠解除

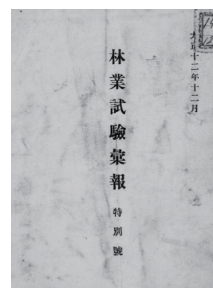
子嚢胞子



アカパンカビの生活環

## アカパンカビは日本でも大発生していた！

日本でも関東大震災のときの大火災後に、突如出現したオレンジ色の粉（アカパンカビ）が幻想的に東京中に舞い、人々を魅了させた（1925年、日本植物病理學會報，1巻6号，p15-19）という記録が残っています。



千九百二十三年九月一日東京大火災の直後  
被害樹に大発生せる橙黄色菌に就て

北島君三

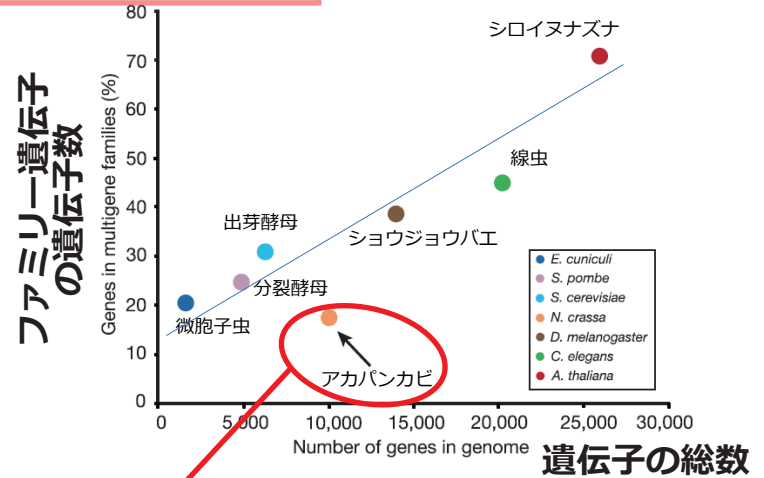
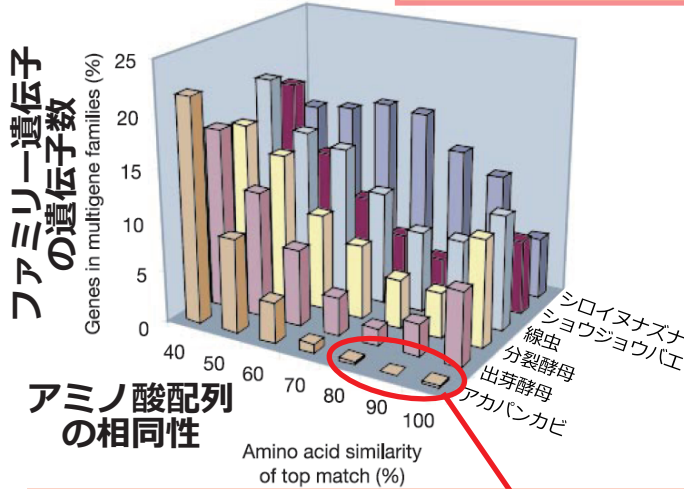
ON THE FUNGUS LUXURIANTLY GROWN ON THE  
摘要

大正十二年九月一日東京市大火災の際市内各所に於て總括せる諸種の樹木に鮮やかな橙黄色菌の夥しく發育せることは多數の人の注意を引きたる所にして其の胞子の形態、着色芽胞子、發生の状況より考察して「モニリア」*Monilia aurea* 菌なることは疑なきことなるが如し（胞子は單細胞にして微黄色を呈し球形、卵形又は短楕圓形をなし市二・八—九・二「ミクロン」長さ一六〇—二五六「ミクロン」あり）而して右分生胞子を醤油寒天培養基に純粋培養し置きたるに培養後五十日前後に於て培養基面に多數の成熟せる子嚢殼及子嚢胞子を生

# アカパンカビは遺伝子レベルにおいても生物界の非常識

アカパンカビは山火事で発芽する不思議な生活環を有しますが、遺伝子レベルでも他の生物にはない不思議な特徴を持っています。その一つが、アカパンカビは似た遺伝子を持たないことです。生物は遺伝子をコピーし、そのコピーした遺伝子を変異させ、オリジナル遺伝子と異なる機能を持つ遺伝子を作ろうと試みます。この挑戦の多くは失敗しますが（変異は中立なため）、ごく稀に新たな機能を持つ遺伝子が生まれます。そのため、この過程は進化の原動力になっていると考えられています。生物は一般的にゲノム上で遺伝子の総数が増えるほど、遺伝子をコピーして、似た遺伝子を増やす傾向があります（コピーする機会が増える）。しかし、ゲノム解析の結果、アカパンカビはこの生物界の常識には従わず、80%以上似た遺伝子がなく、ファミリー遺伝子も総数から見ると極端に少ないことがわかりました（Galagan et al, *Nature*, 2003）。

下図は Galagan et al, *Nature* (2003) から

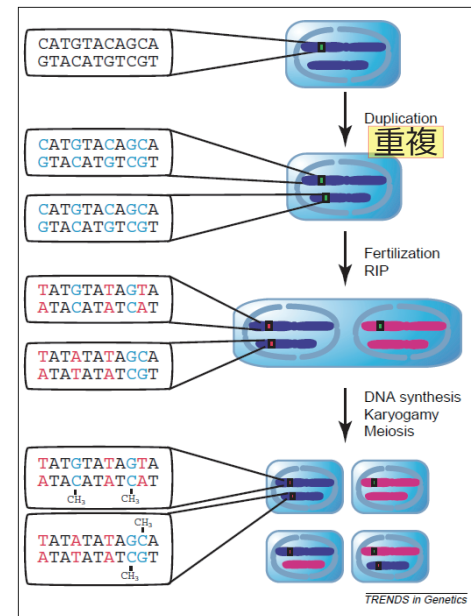


アカパンカビは80%以上の相同性（アミノ酸配列）のあるファミリー遺伝子がほぼない。この特徴は他の生物には見られない（生物界の非常識）

生物は遺伝子の総数が増えるとファミリー遺伝子の遺伝子数が増える（両者は正比例する）のだが、アカパンカビはこの傾向に従わない（生物界の非常識）

## アカパンカビには似た遺伝子を壊す仕組みがある

アカパンカビには有性生活環に強力なゲノム防御システム RIP (Repeat Induced Point mutation) を駆動します。この RIP はゲノム上で 500bp 以上で 80%以上相同性のあるすべての重複配列を認識し、変異させます（右図）。特に、CA を TA に変異することを好むため、遺伝子破壊するナンセンス変異（終始コドン TAA と TAG）が起こりやすくなります。この RIP のおかげで、アカパンカビはゲノム上で増幅するトランスポゾン（ウイルスみたいなもの）をすべて破壊していますが、この代償として、上記のように自身の遺伝子もコピーすることができなくなっています（一方、ヒトのゲノムではトランスポゾンがおおよそ 50%を占めている）。



Galagan & Selker (2004)

## だから、「1 遺伝子・1 酵素説」が成り立つ

アカパンカビと言えば、高校で習う「1 遺伝子・1 酵素説」が有名です。しかし、多くの生物は上記のように似た遺伝子があるので、「1 遺伝子・1 酵素説」が成り立ちません（コピー遺伝子がバックアップしているため）。

Beadle と Tatum は「1 遺伝子・1 酵素説」を証明するために、数あるモデル生物からアカパンカビを選びました。この Serendipity により、彼らは知らず知らずに、コピー遺伝子がないアカパンカビの生物界の非常識をうまく活かすことに繋がり、後世にも受け継がれる研究を成し遂げることができたわけです。

## 最後に研究紹介：モデル生物アカパンカビで菌類ウイルス学実験系の構築

アカパンカビはモデル生物として大変古い歴史を持ちますが、不思議なことに、アカパンカビに感染する菌類ウイルスは報告されていませんでした。当研究室では、世界で初めて本菌に感染するウイルスを発見し、標準株にこれらのウイルスを人工感染する実験系を構築しました（Honda et al, *Nature Comm*, 2020）。この実験系と強力な遺伝学を組み合わせ、これまで菌類ウイルス学では出来なかった解析が可能になり、「ウイルス未発見の理由」などの面白いことがわかってきました。興味のある方は研究室までご連絡ください。