

これまでの天然物化学研究とこれから

名古屋大学大学院情報学研究科

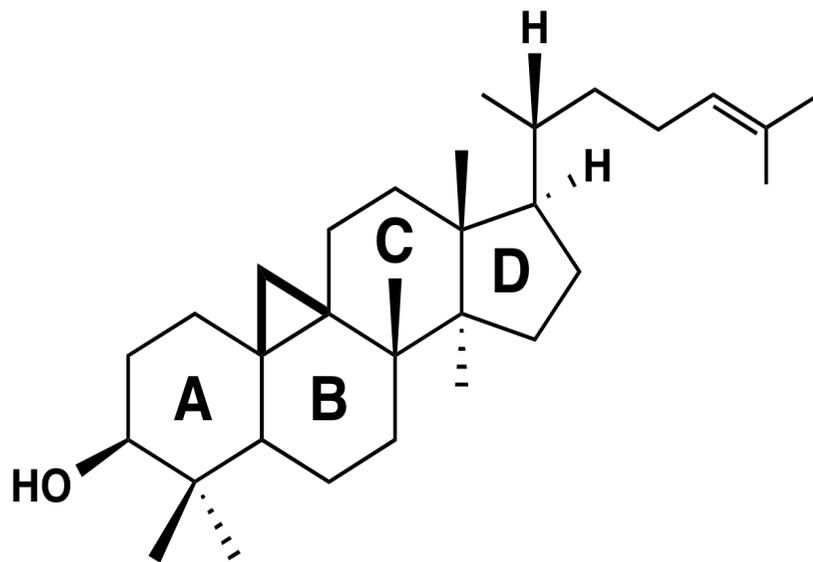
吉田 久美

自己紹介

- 1980年 名古屋大学農学部卒業
- 1982年 名古屋大学農学研究科修士修了(抗生物質の合成)
- 1982年- 天野製薬(株) 研究部(半合成による創薬)
- 1988年- 椋山女学園大学家政学部・助手(色素の食品化学)
- 1992年 博士(農学) 名古屋大学(アントシアニンの分子会合)
- 1994年-1995年 コンスタンツ大学研究員(除草剤の作用機作)
- 2000年 名古屋大学大学院人間情報学研究科・助教授
- 2010年 名古屋大学大学院情報科学研究科・教授
- 2017年 名古屋大学大学院情報学研究科・教授
- 2023年 定年退職予定

天野製薬(株)研究部 (1982-1988年) 抗高脂血症薬の開発研究

コレステロール類似の平らな高次構造

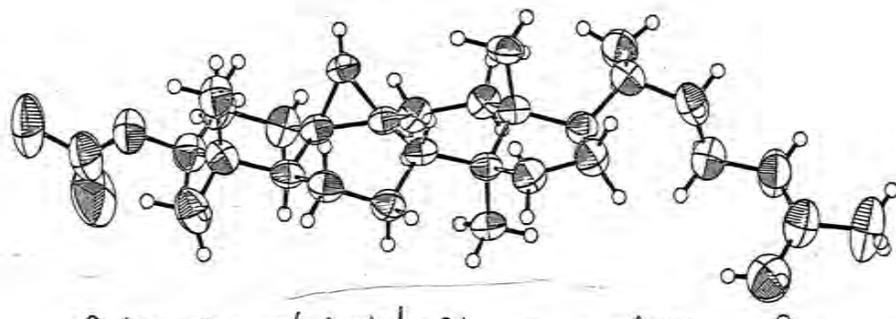
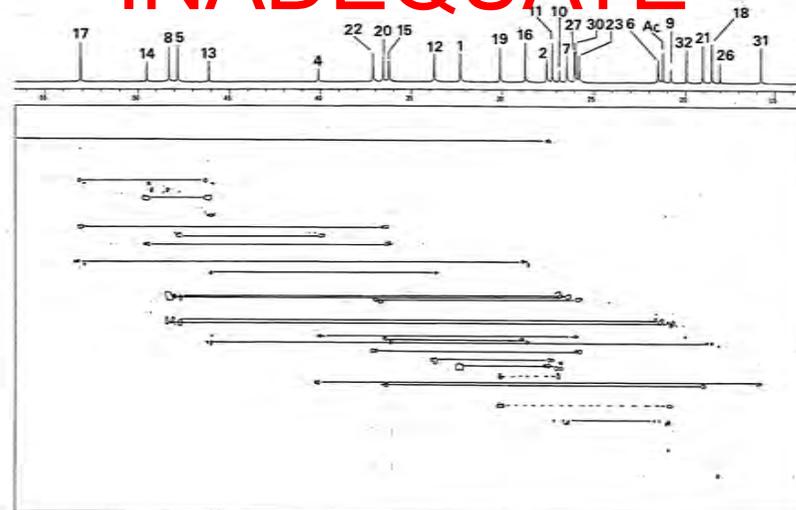


核磁気共鳴スペクトル

X線結晶構造解析

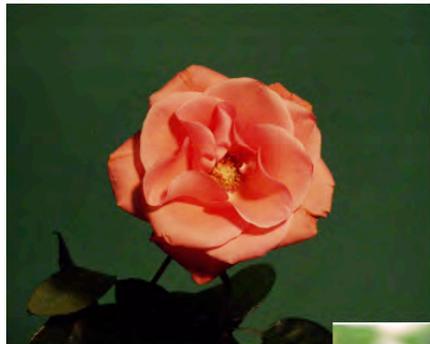
コンフォーメーション計算

INADEQUATE



椋山女学園大学家政学部, 生活科学部(1988-2000年)

花色素アントシアニンの精密構造と機能研究



アントシアニンの食品着色料としての利用



名古屋大学(2000-2023年)

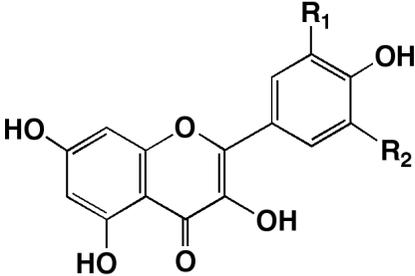
化学と生物学の接点

未解明な現象に取り組む

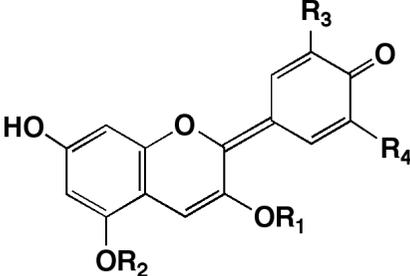
博士前期課程・後期課程の院生と

さまざまな学会活動

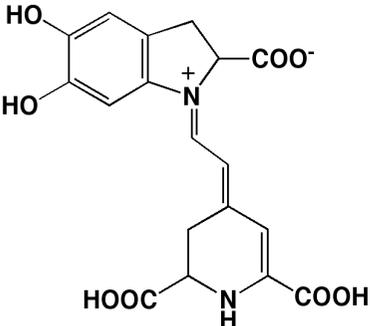
植物色素の色と構造



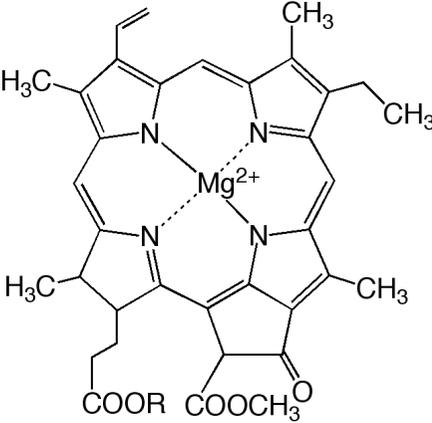
フラボノール 



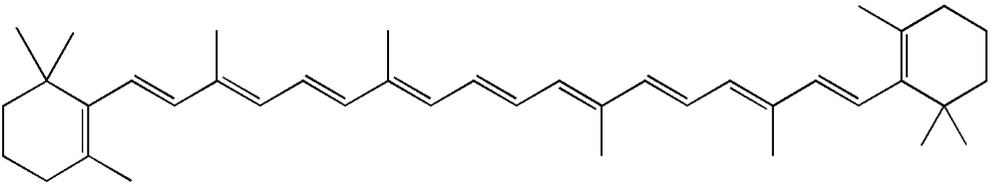
アントシアニン



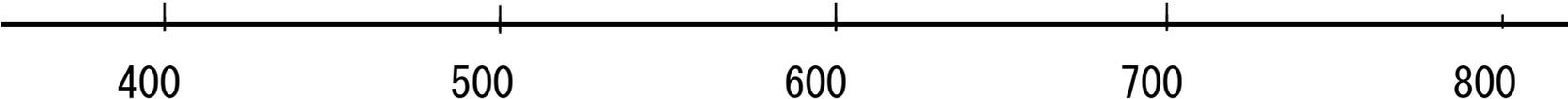
ベタレイン



クロロフィル

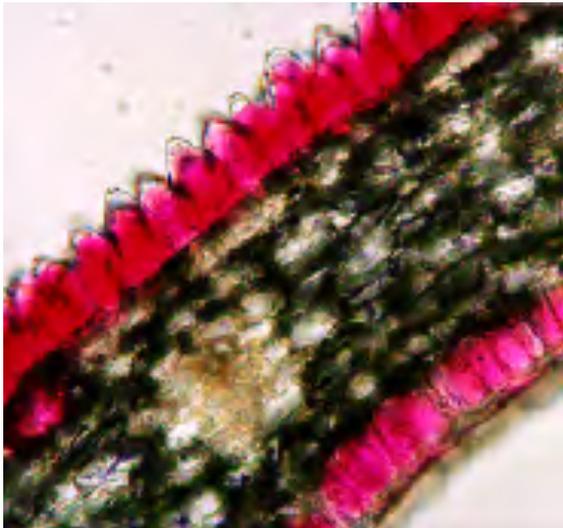


カロテノイド



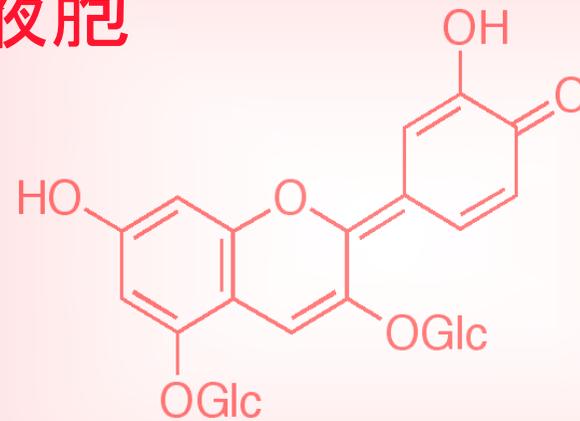
波長 (nm)

花卉のどこにアントシアニンはあるか

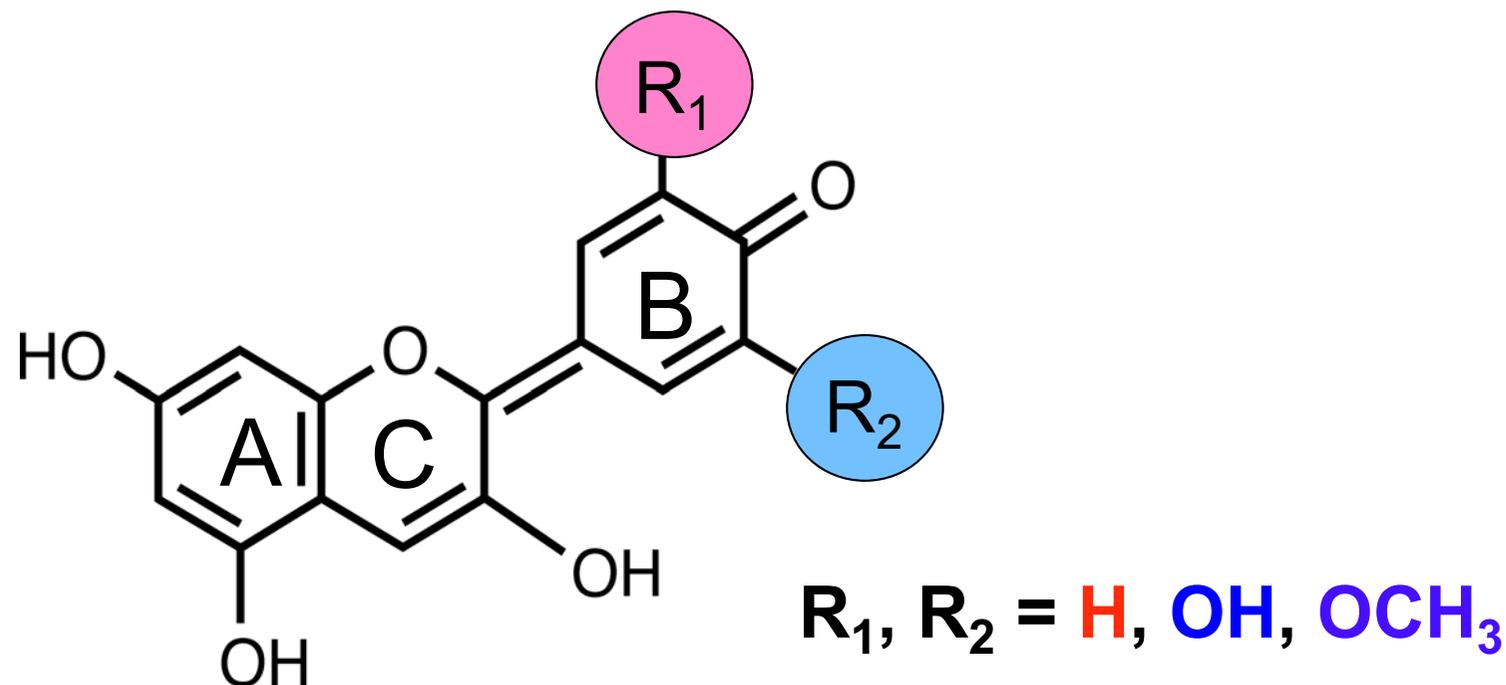


細胞質基質(サイトゾル)

液胞



アントシアニンの化学構造と機能

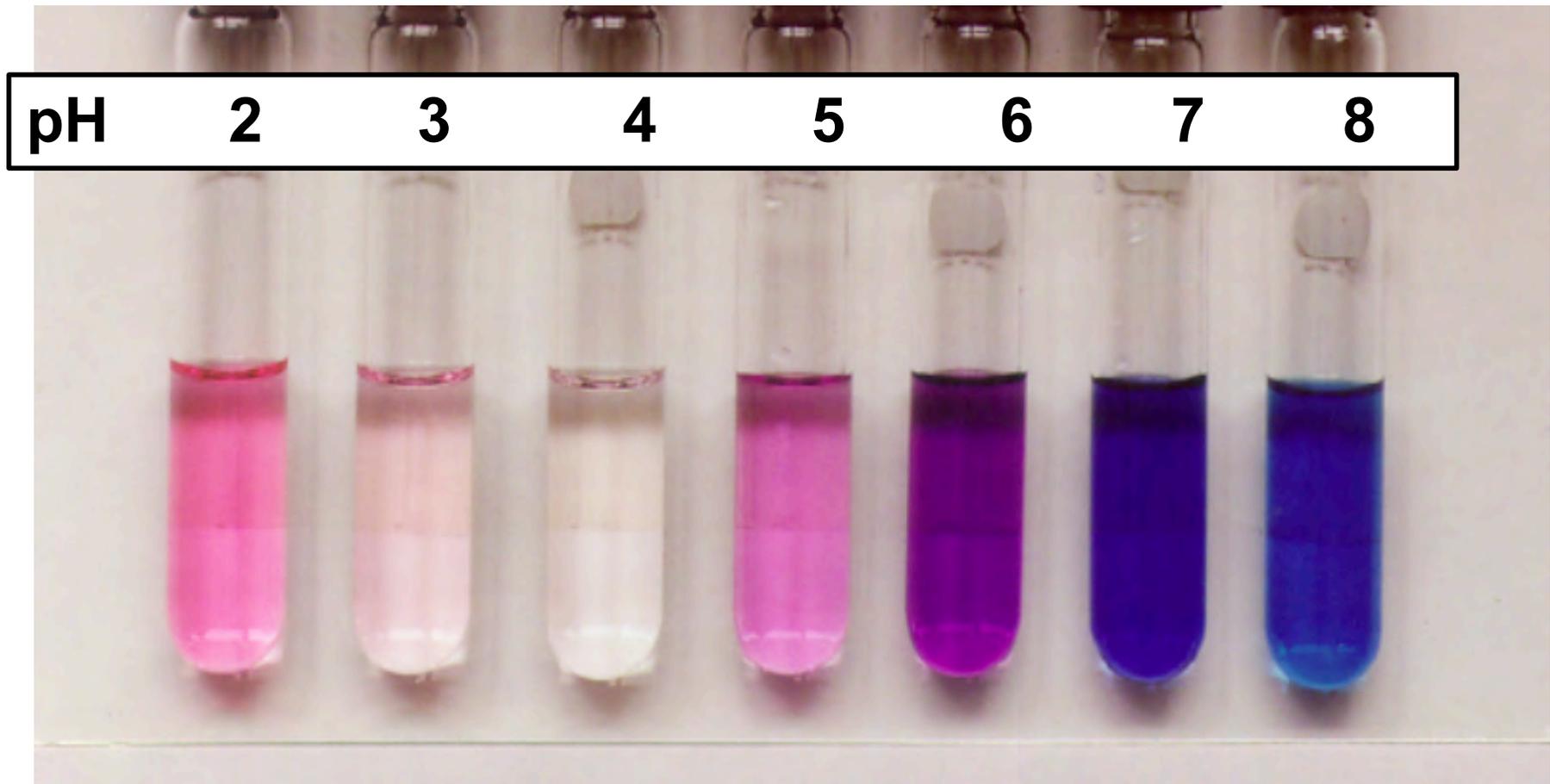


> 700 compounds

植物色素、虫媒作用、紫外線防御、抗酸化、ストレス応答
生活習慣病予防

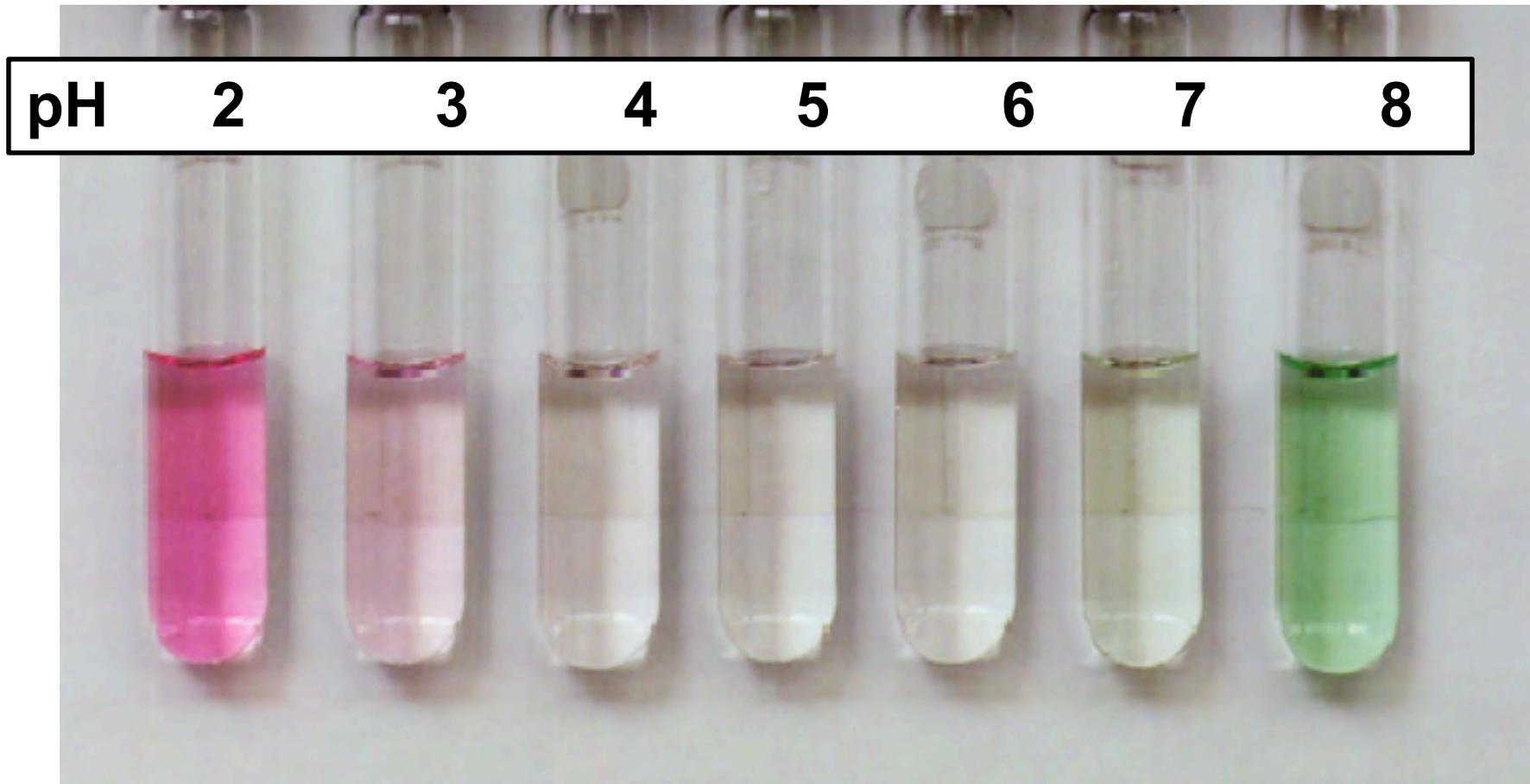
なぜ、花卉細胞中では、中性でも安定なのか

Malvin 0 min

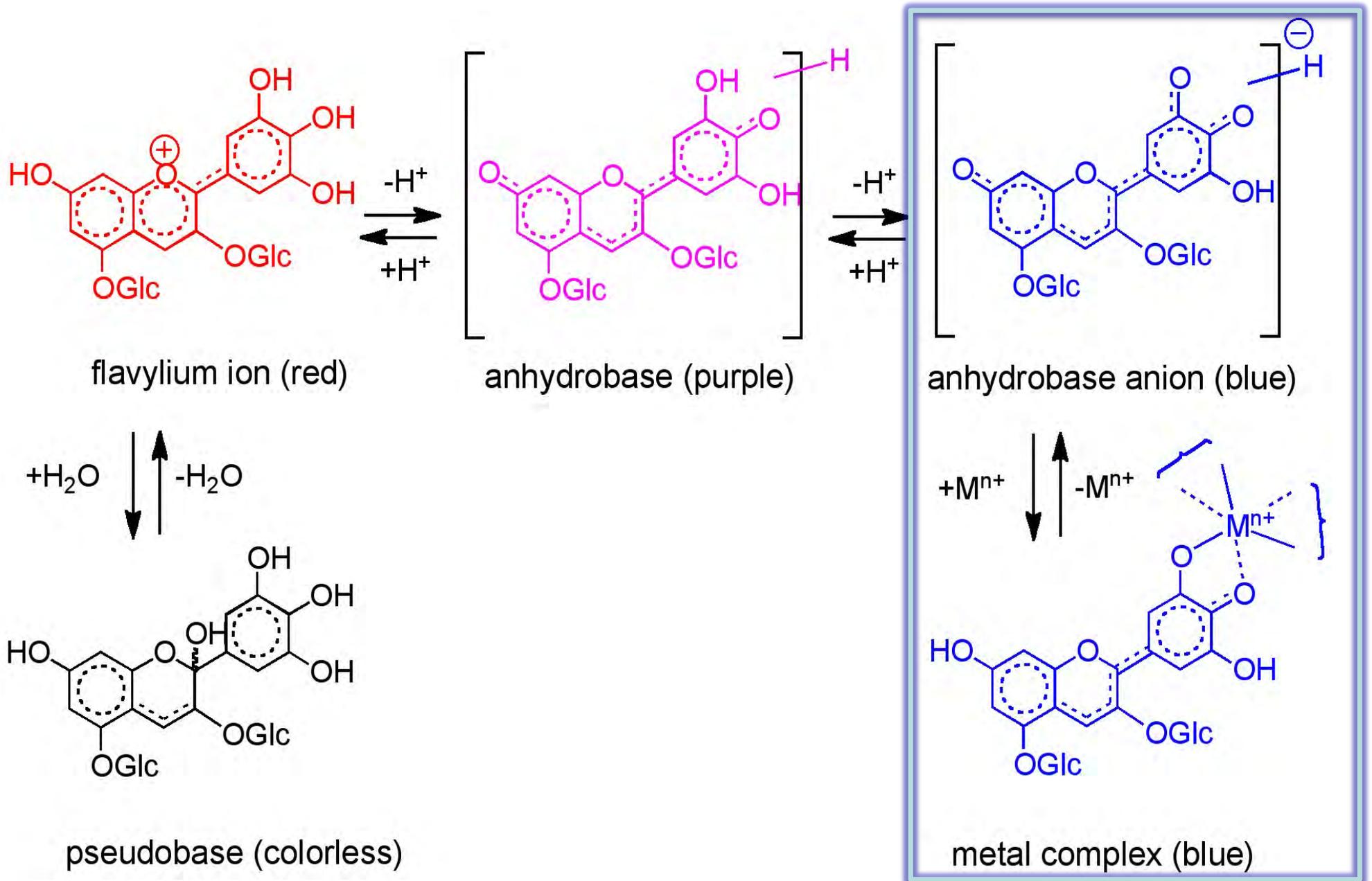


なぜ、花卉細胞中では、中性でも安定なのか

Malvin 24 h



アントシアニンのpHによる構造変化

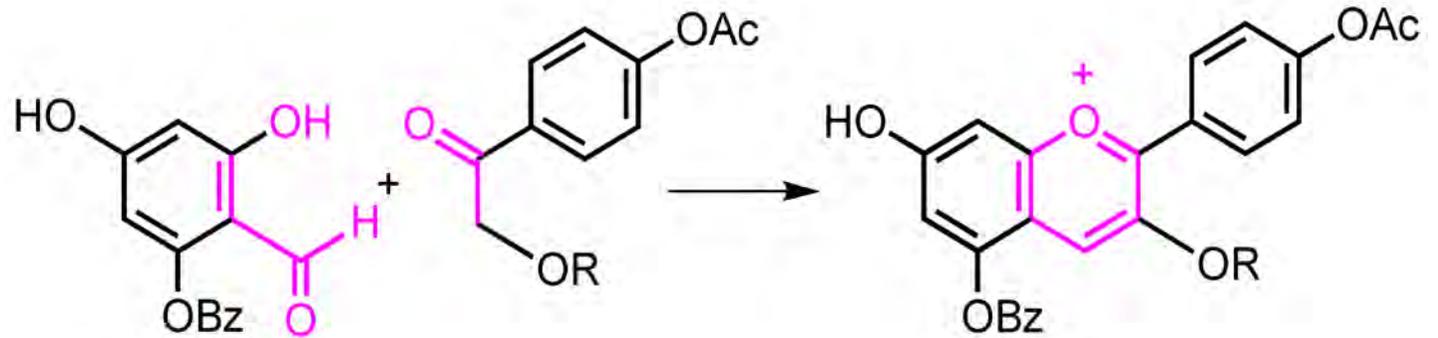


アントシアニンの合成研究・助色素効果

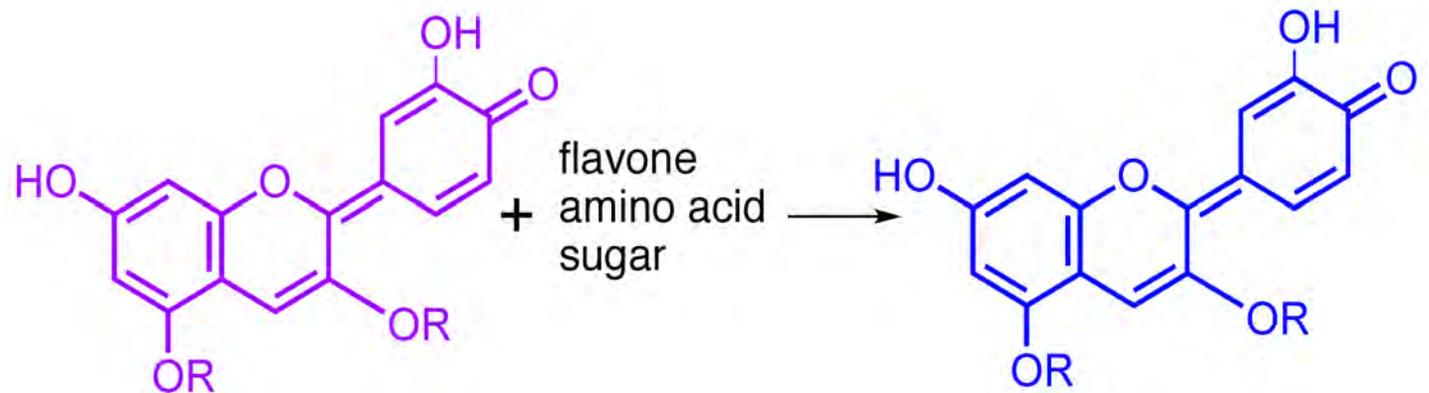


Sir R. Robinson
1886-1975

Synthesis of anthocyanins

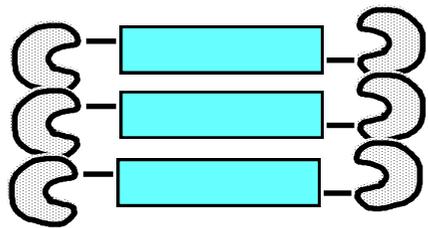


Co-pigmentation effect

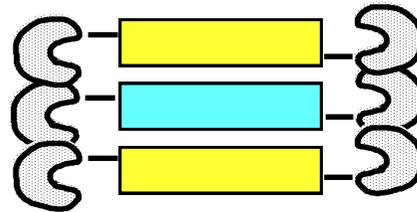


疎水相互作用に基づくアントシアニンの分子会合説

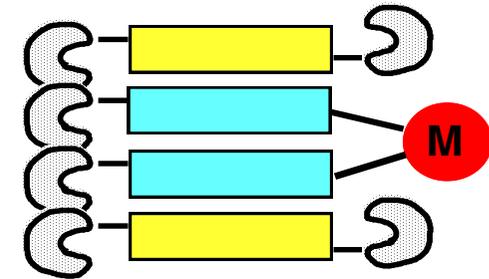
by 後藤俊夫, 近藤忠雄



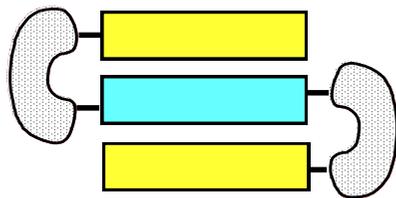
Self-association



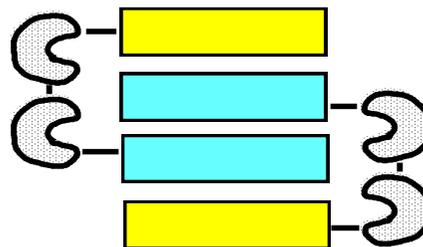
Copigmentation



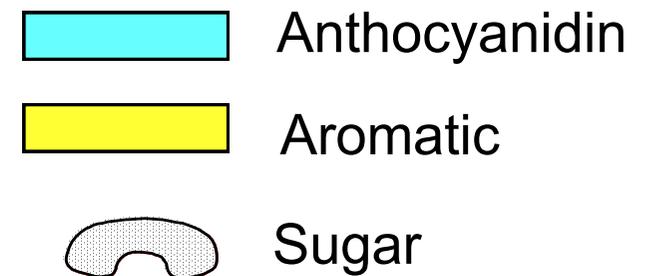
metalloanthocyanin



Intramolecular association



Nested association



花色に影響を与える因子

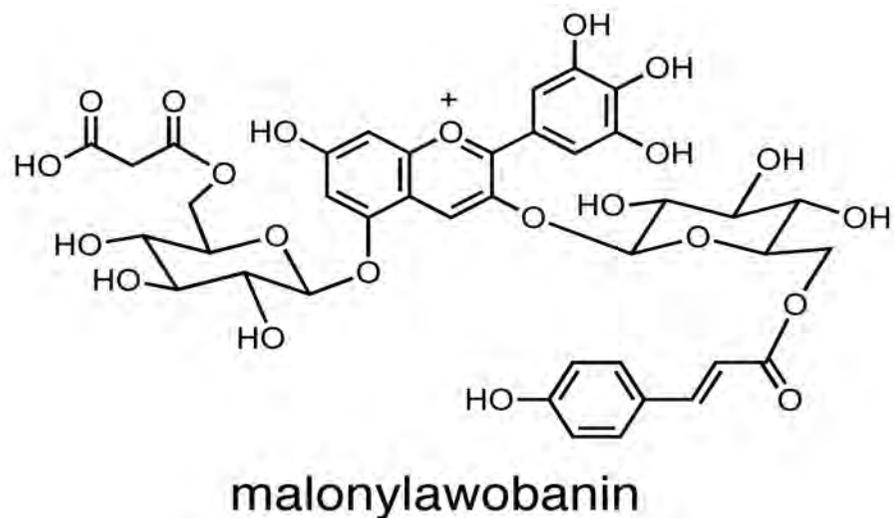
- アントシアニンの化学構造
- 助色素
- 金属イオン
- 液胞pH

何を考えてこういう実験をしてきたのか

- ◆ ツユクサ花弁色素コンメリニン
- ◆ 赤シソ葉に含まれるアントシアニン・梅干し漬け
- ◆ 多アシル化アントシアニンの分子内会合と光防御機構
- ◆ 有色豆種皮のアントシアニン
- ◆ 赤小豆種皮の色素
- ◆ アサガオの開花に伴う青色化のしくみ
- ◆ 様々な青色の花の発色機構
- ◆ アジサイの花色変異機構
- ◆ アントシアニンの化学合成
- ◆ 色素増感太陽電池
- ◆ アントシアニンの生合成機構

花卉成分からのコンメリニンの再構築

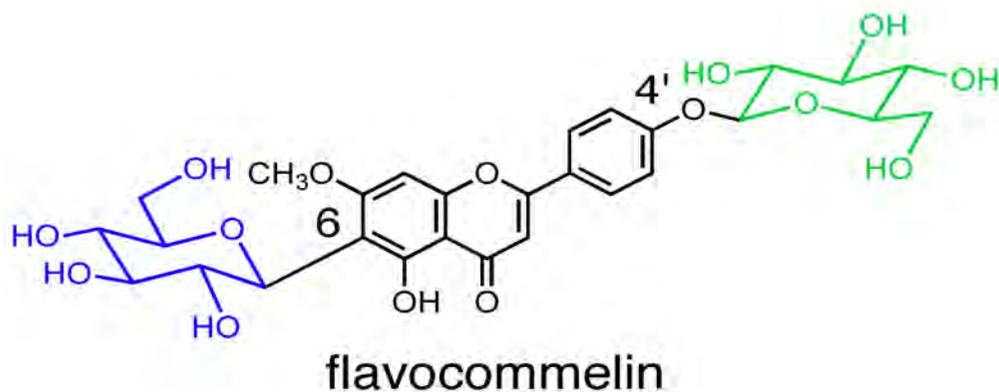
田村啓敏香川大教授



Mg^{2+}

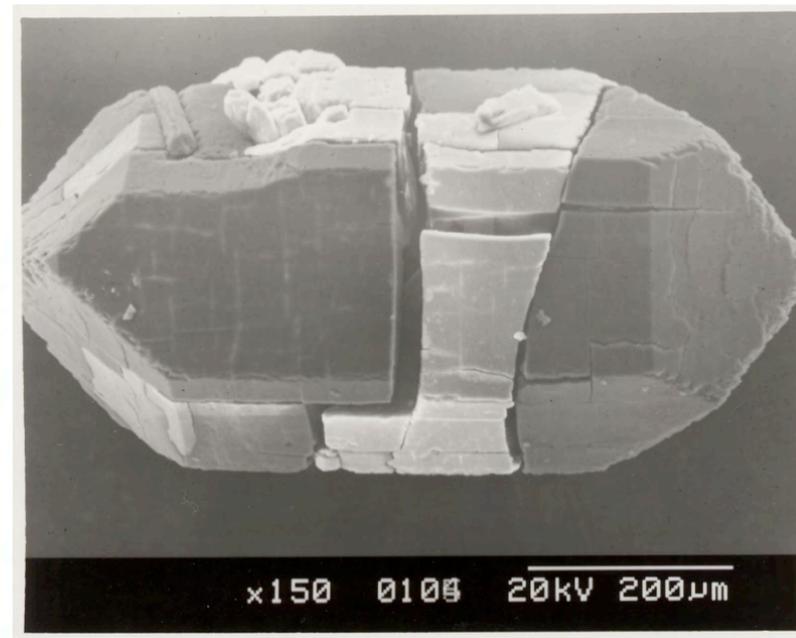


commelinin



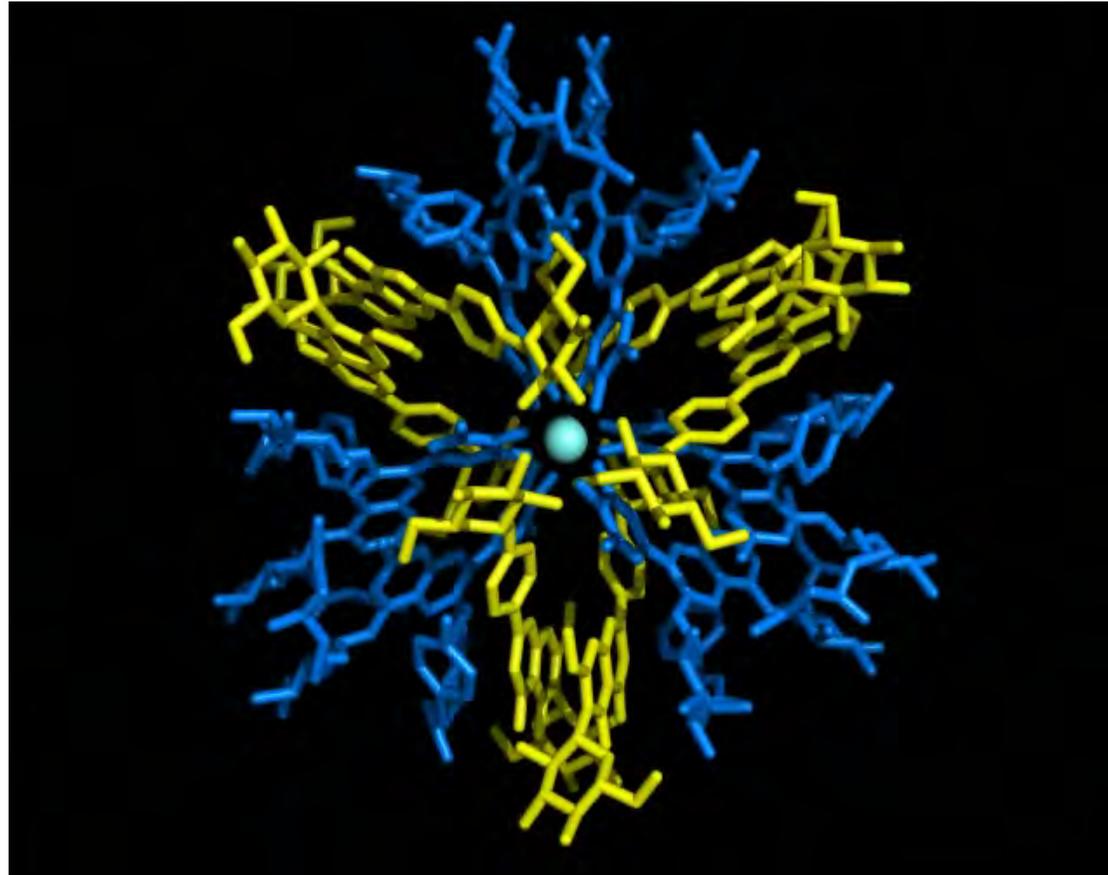
Tamura, *et al.*, *Tetrahedron Lett.*, 1986

コンメリニンの再構成と結晶化



コンメリニンのX線結晶構造

中川敦史大阪大教授



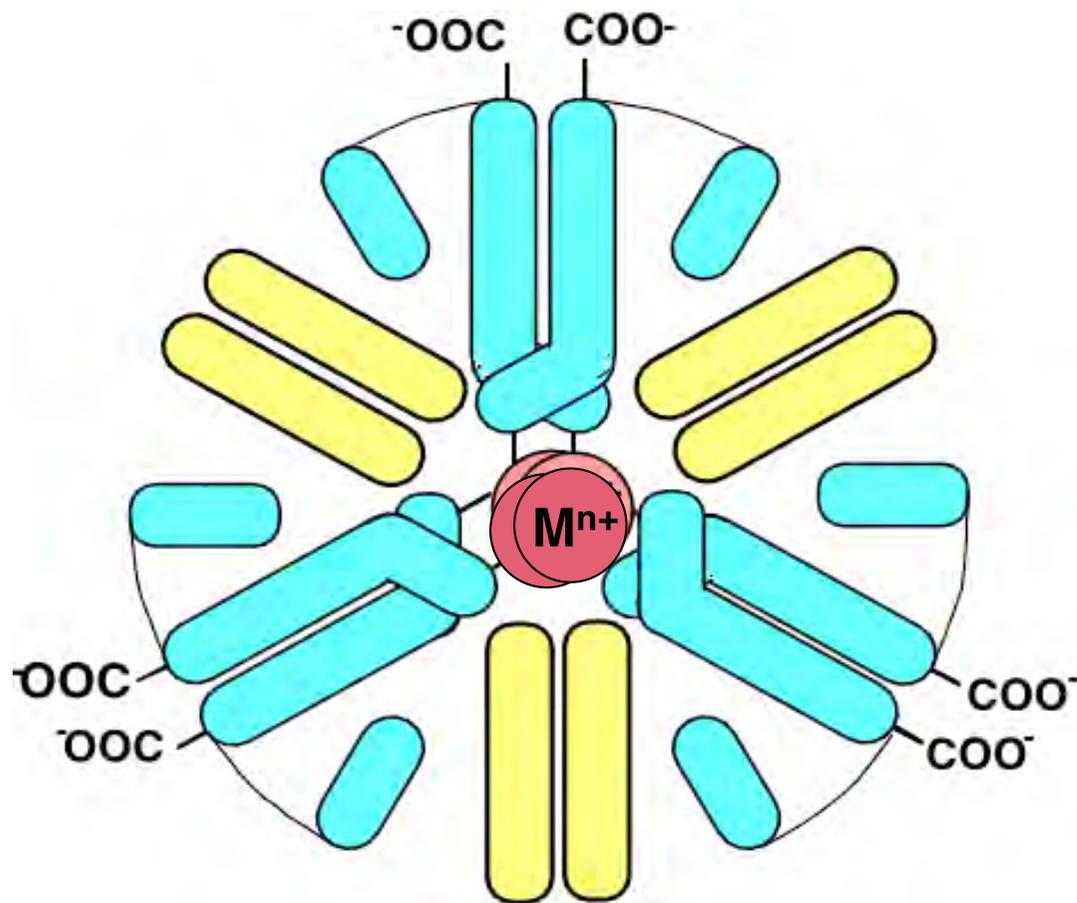
アントシアニン (6)

フラボン (6)

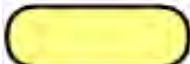
Mg²⁺ (2)

近藤忠雄, 吉田久美, 中川敦史, 河合隆利, 田村啓敏, 後藤俊夫, *Nature*, 1992

メタロアントシアニン: 自己組織化超分子金属錯体色素



 anthocyanin (A)

 flavone (F)



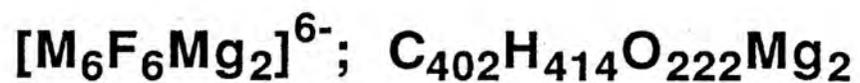
Metal complex

Chiral molecular
stackings

コンメリニンのESI-MS

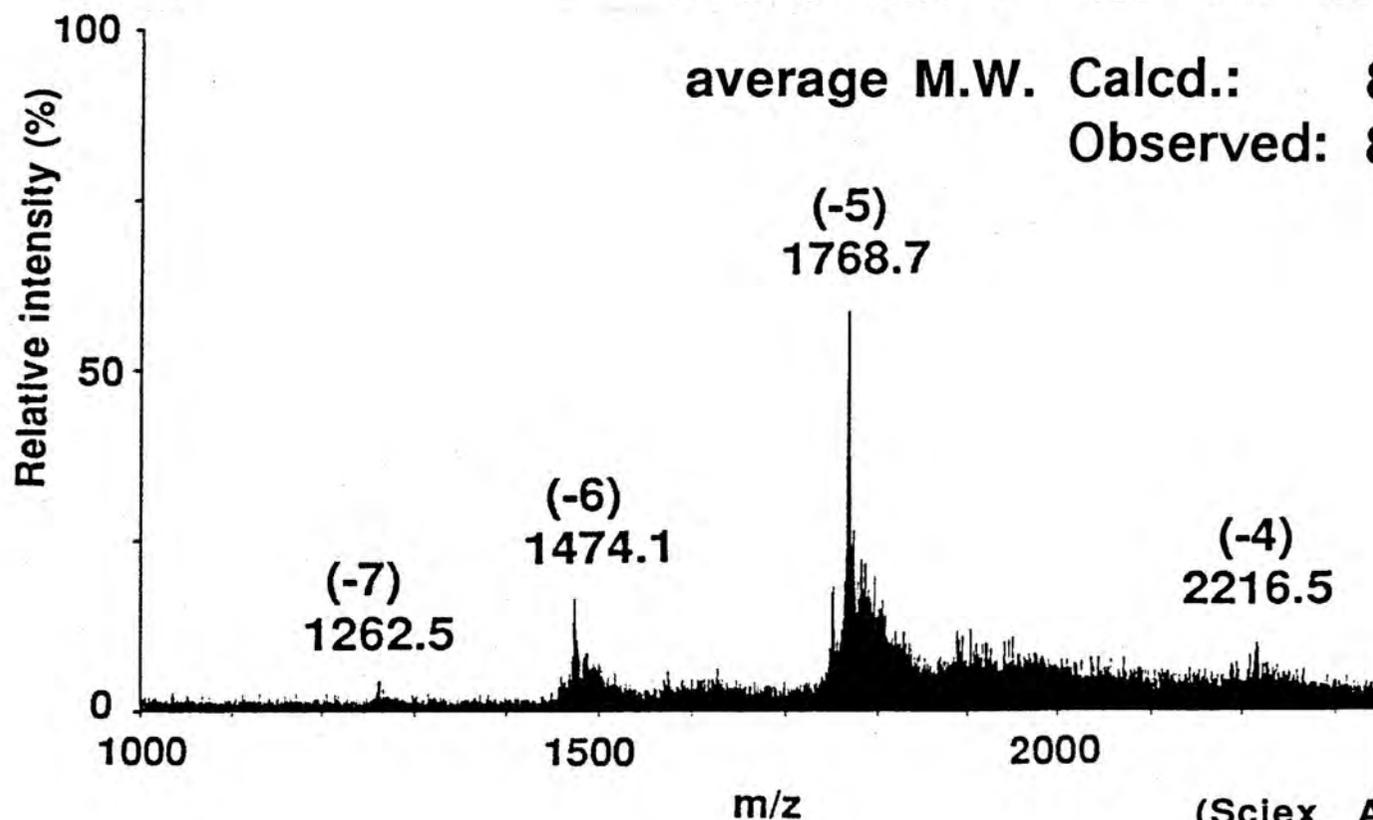
上田実
東北大学教授

(負イオンモード、10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 50% EtOH)



average M.W. Calcd.: 8846.1

Observed: 8848 ± 3.2



質量分析討論会

(Sciex API-III)

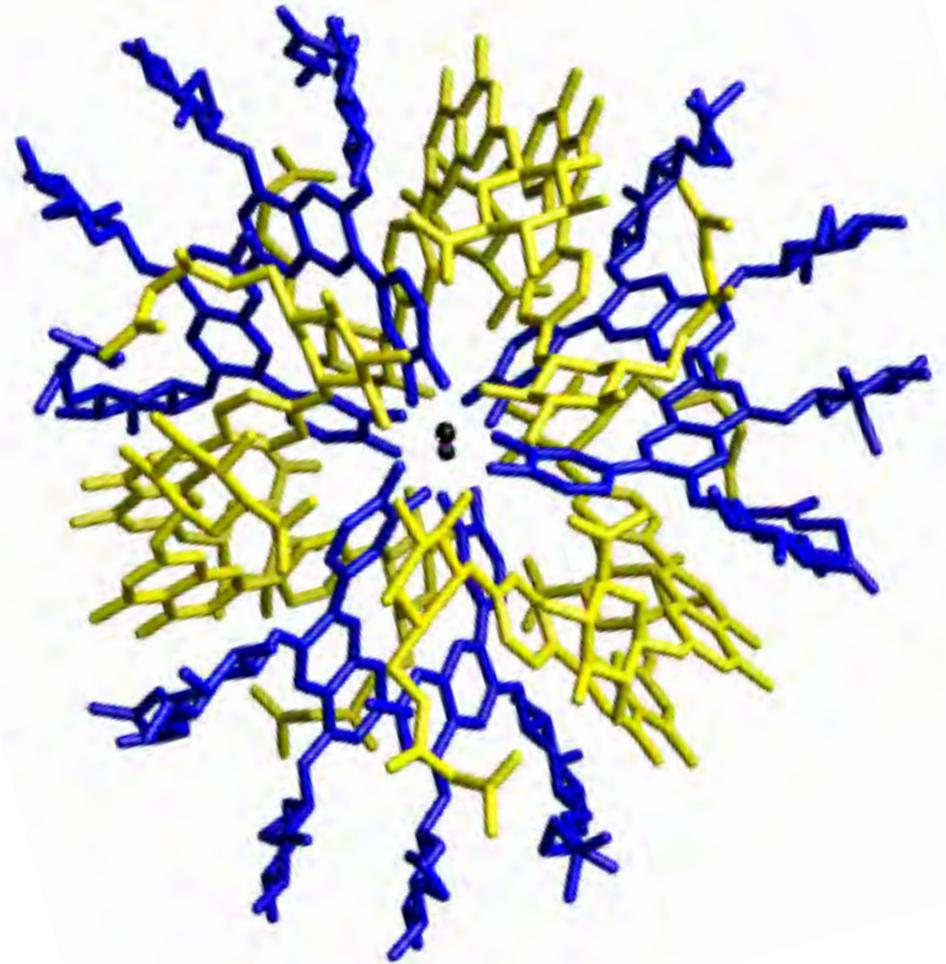
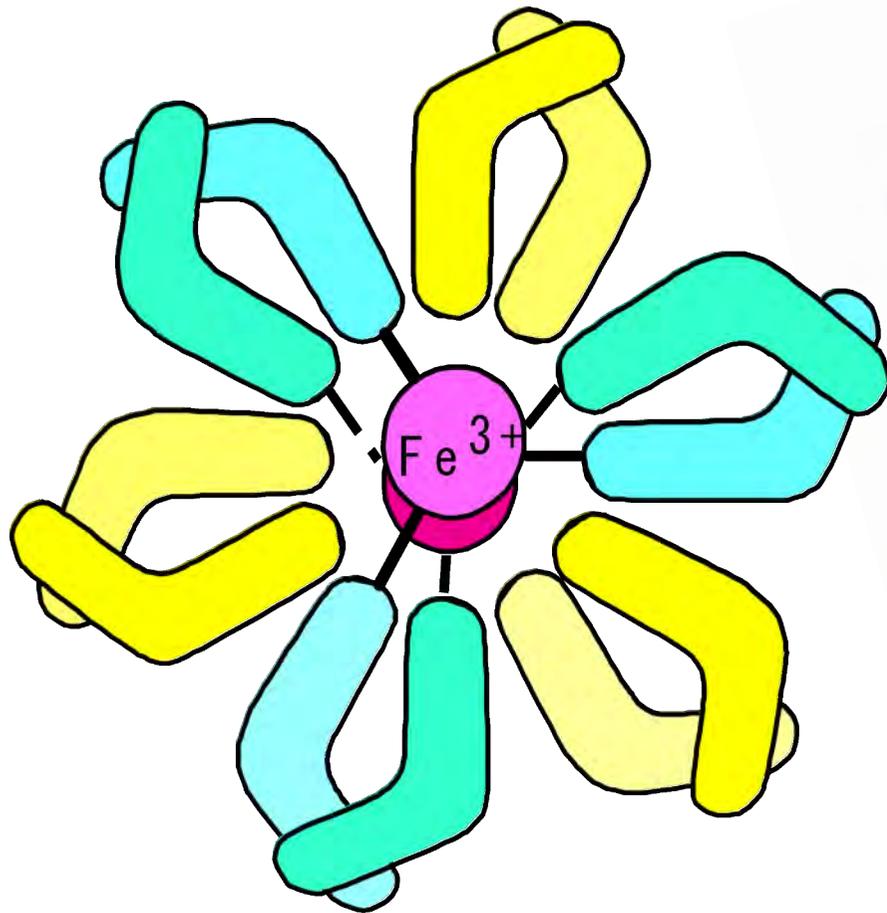
Kondo et al, *J. Amer. Chem. Soc.*, 1994

ヤグルマギク青色花弁色素プロトシアニン



Centaurea cyanus

プロトシアニンの構造

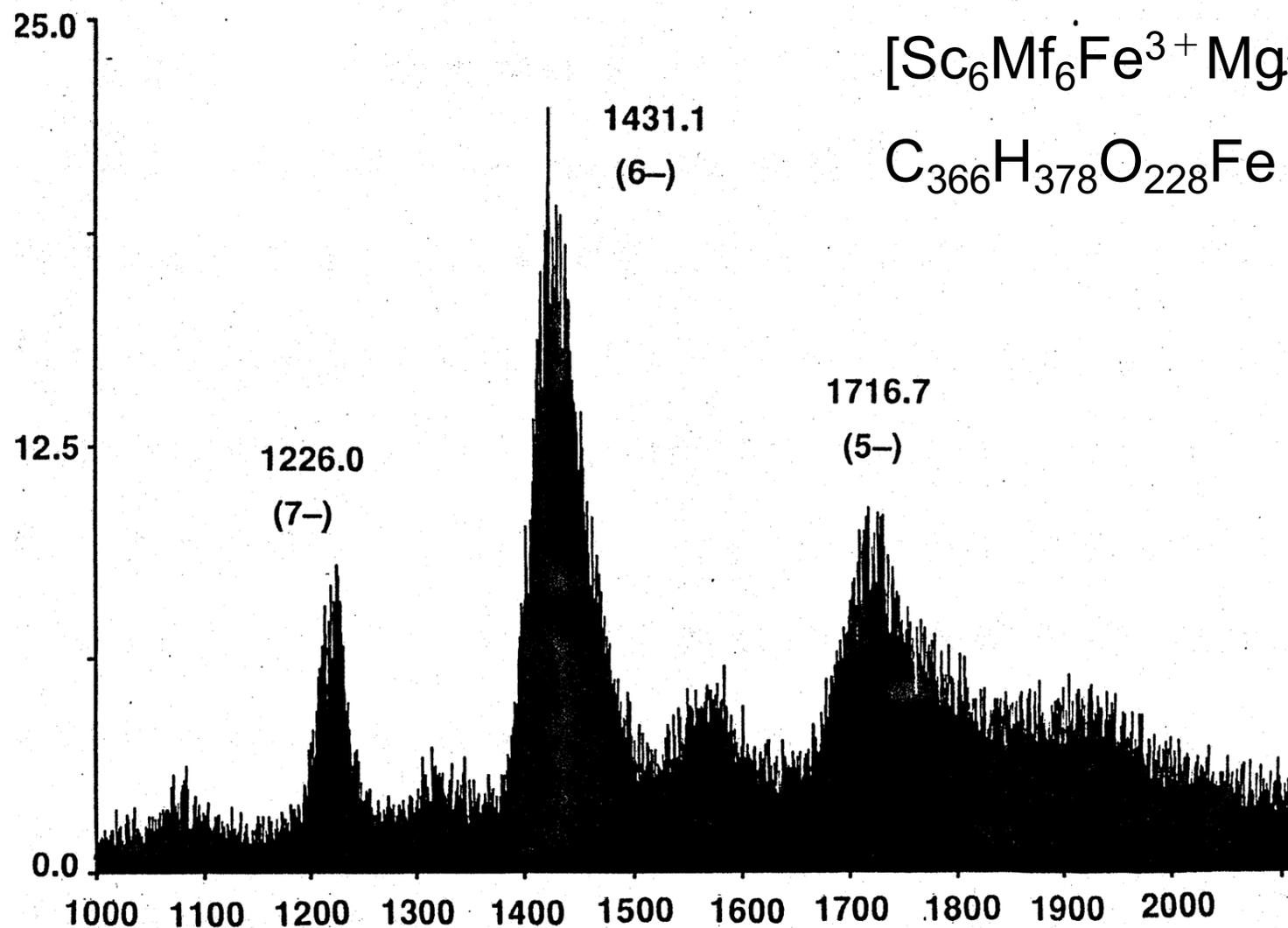


Kondo et al, *Angew. Chem.* **1994**

Shiono et al, *Nature.* **2005**

再構築プロトシアニンのESI-MS (第1世代)

(負イオンモード、10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 50% EtOH)

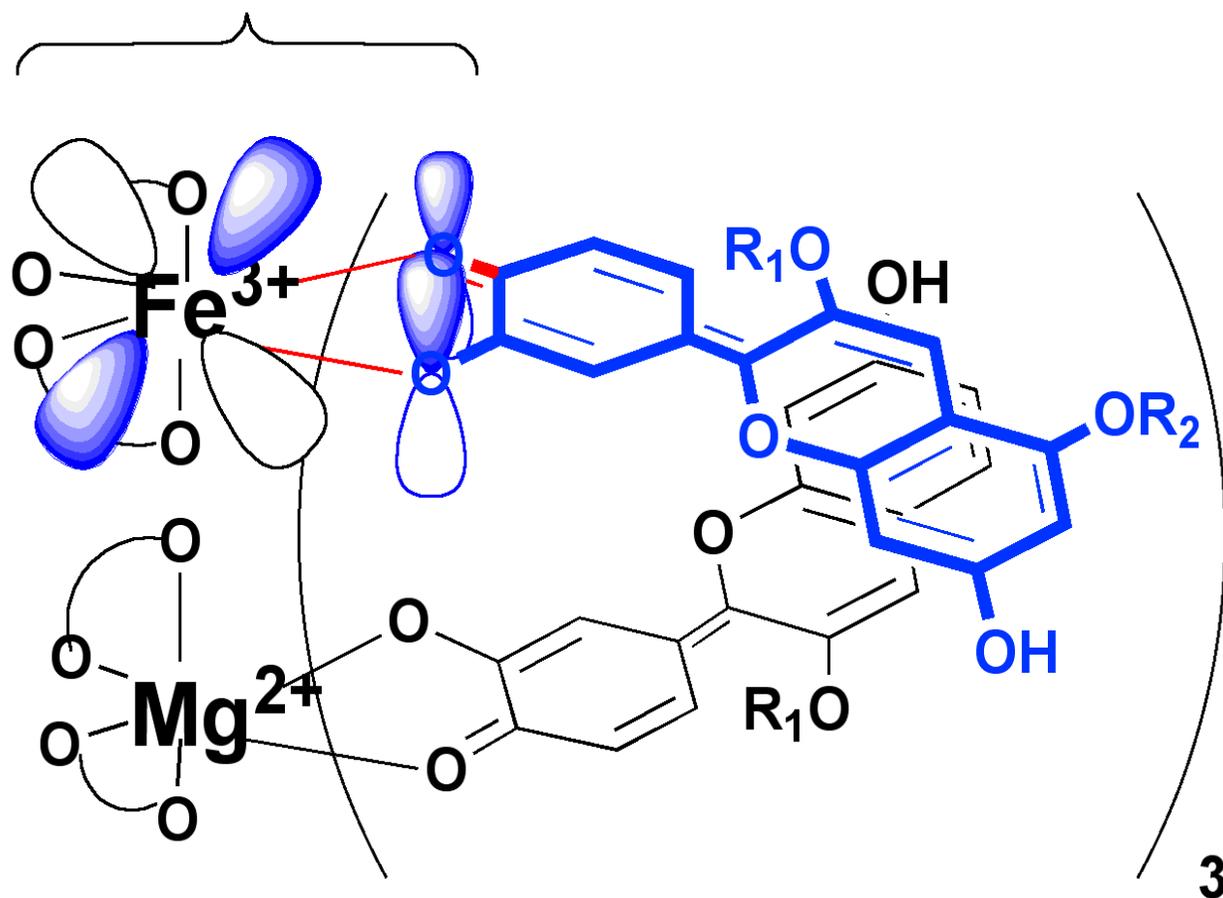


m/z

Kondo *et al*, *Angew. Chem. Int Ed Engl.*, 1994

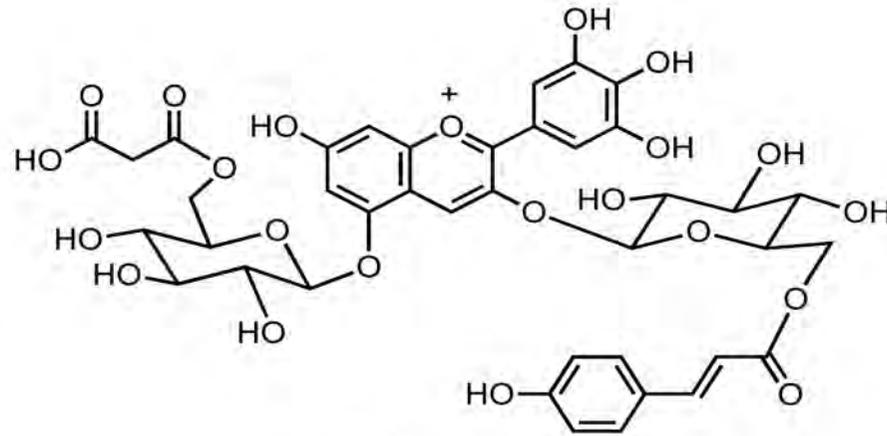
プロトシアニンの青色発色

シアニジン発色団から遷移金属へのLMCT



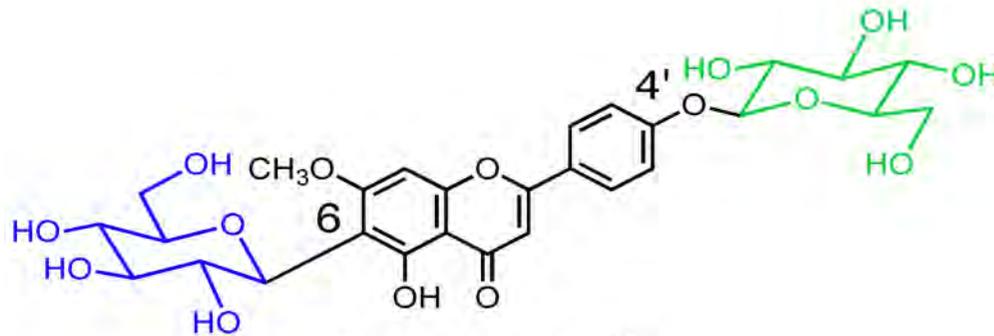
なぜキラルに会合するのか？

糖の不斉が関与しているはず



malonylawobanin

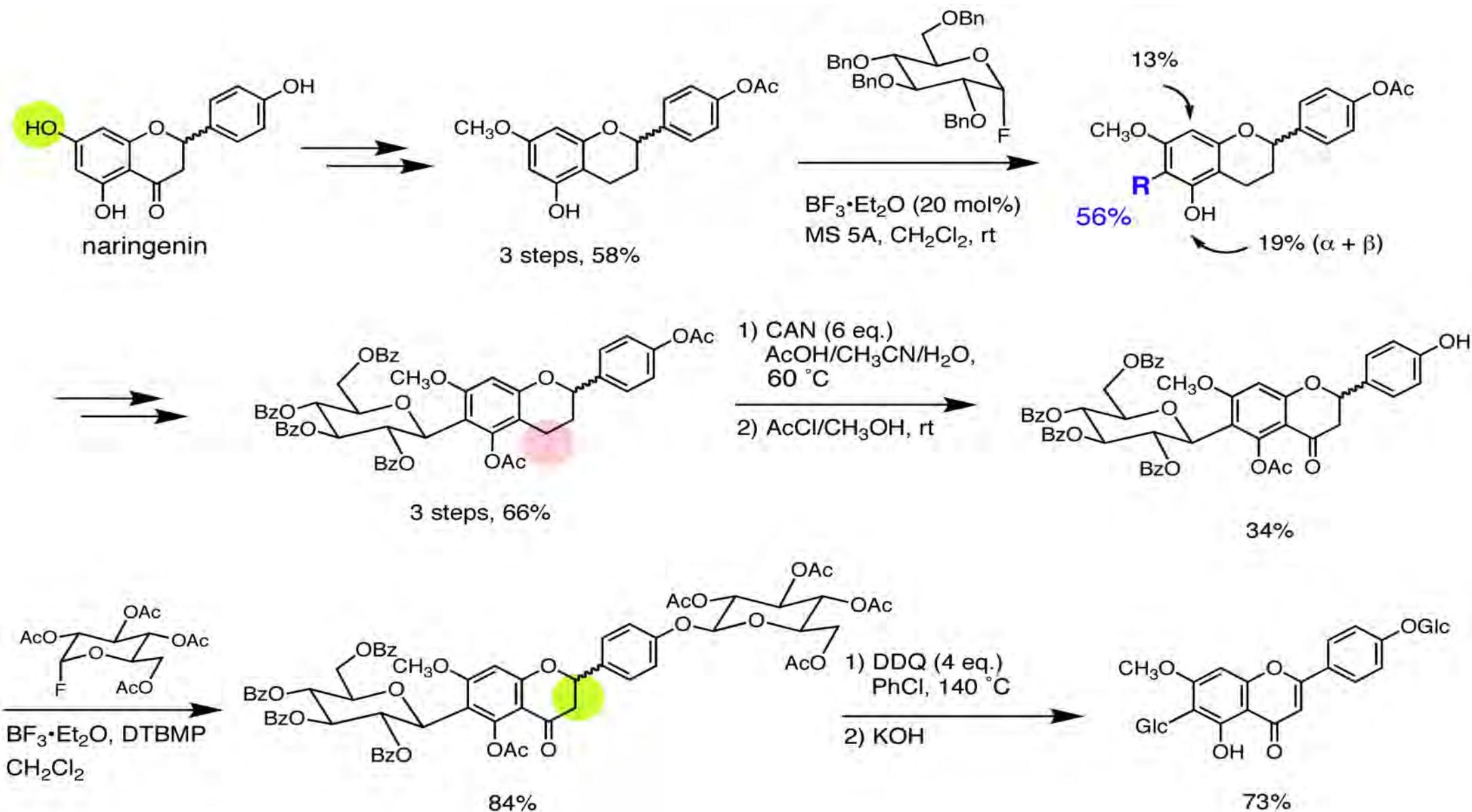
Mg²⁺



flavocommelin

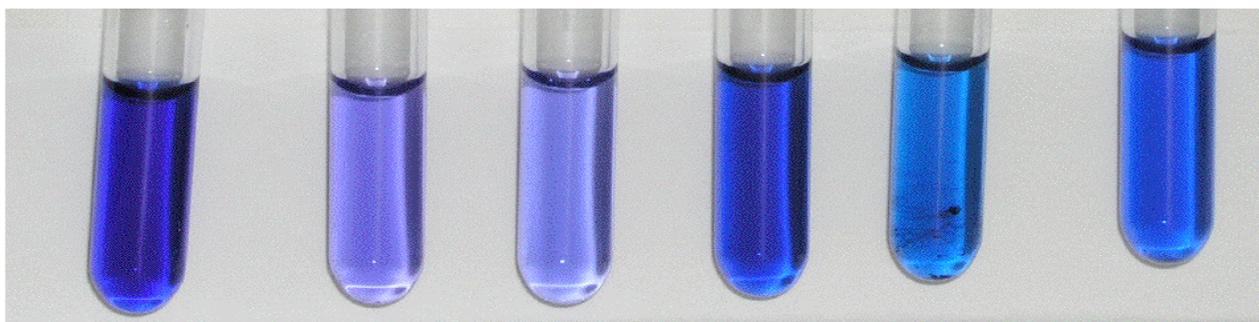
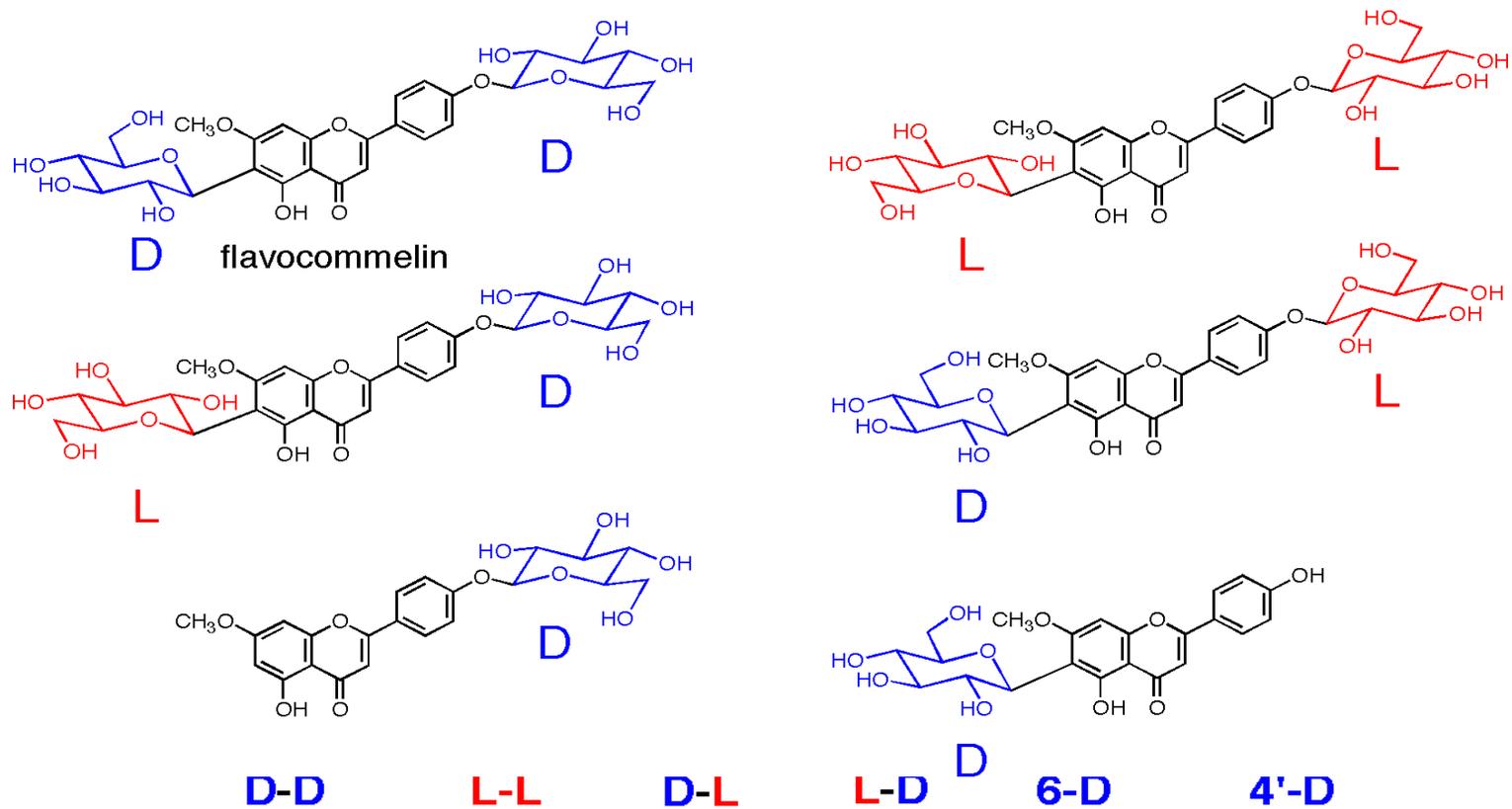
フラボコンメリンの化学合成

尾山公一博士



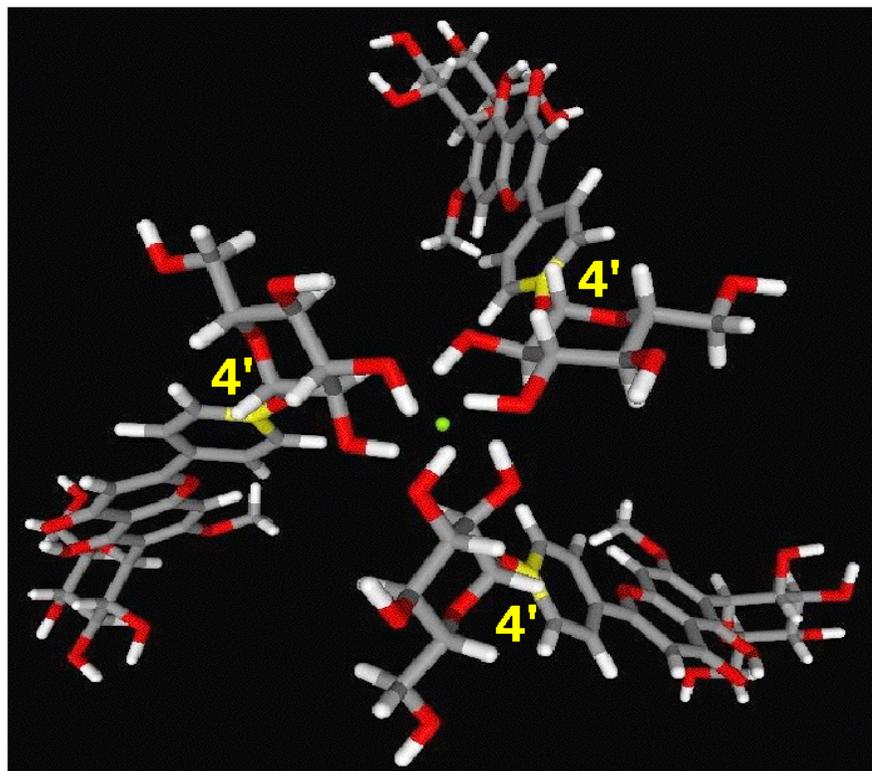
Oyama & Kondo, *J. Org. Chem.*, 2004

化学合成した助色素を用いた超分子形成実験

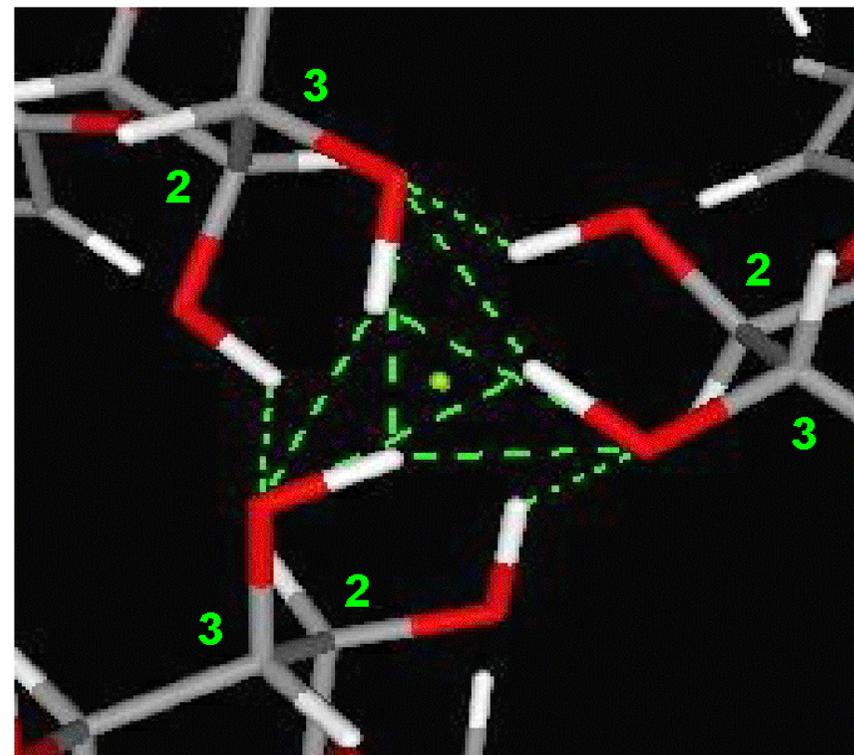


M-ヘリカルなフラボコンメリンの会合

尾山公一博士
中本紀行学士



three flavocommelins



chiral hydrogen-bond network
(*M*-helical)

メタロアントシアニンの探索

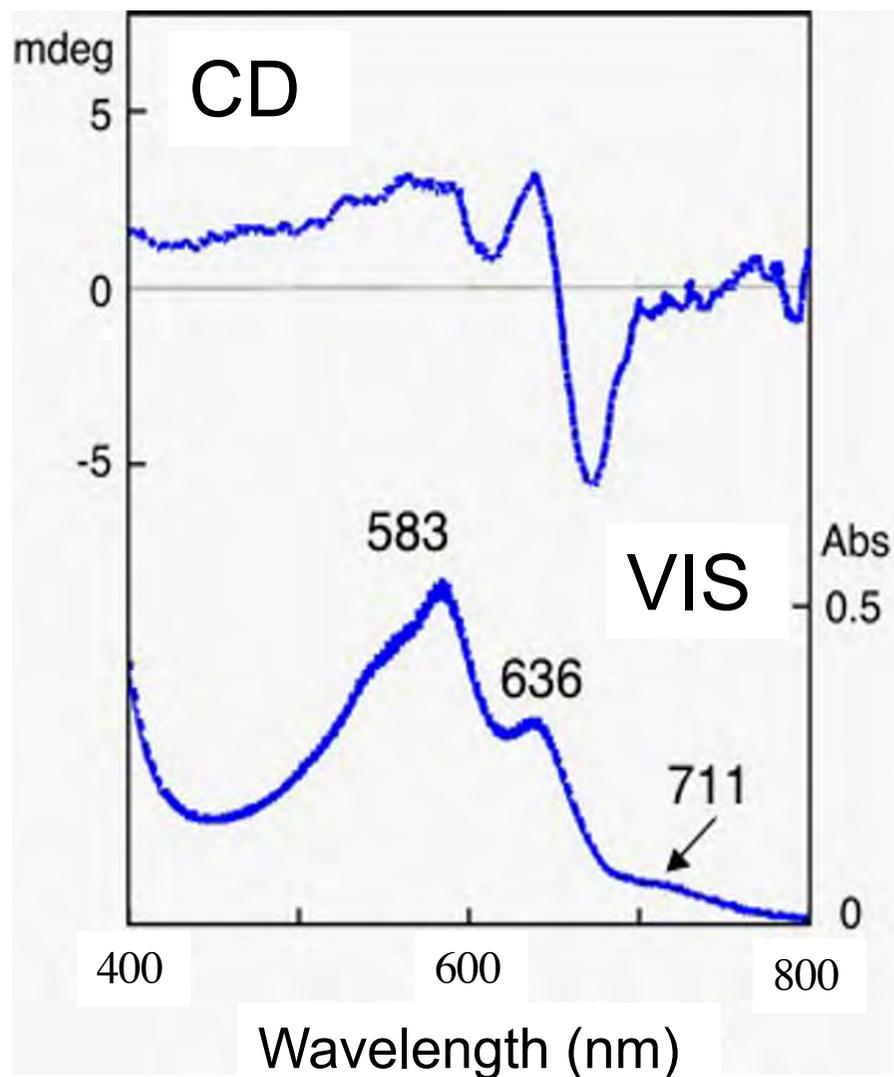
いろいろな青い花をしらべる→ネモフィラ



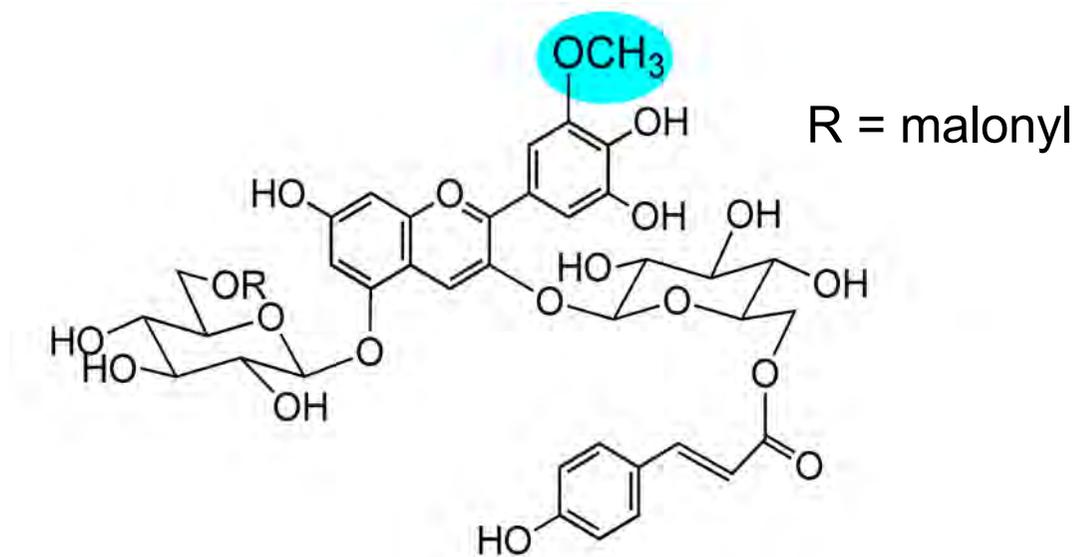
森美穂子博士
北原小容子修士
山下佳子修士
東條謙輔修士

Nemophila menziesii

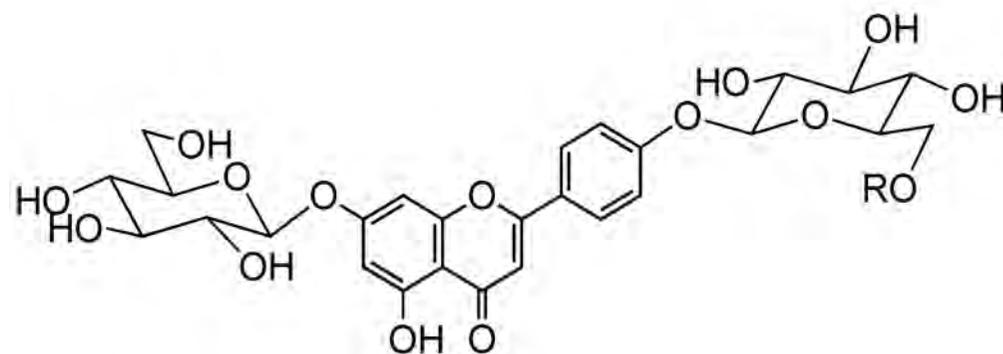
花卉のスペクトルと成分



Yoshida et al., *Nat. Prod. Rep.*, **2009**



anthocyanin component (**NM**)



flavone component (**MP**)

Yoshida et al., *Tetrahedron*, **2015**

成分からの再構築と溶液の色

NM (TFA salt) + MP

1 M NH₃ aq., dried *in vacuo*

H₂O or buffer

Mg²⁺ (10 eq.)

Fe³⁺ (1/6 eq.)

gel filtration
column

nemophilin



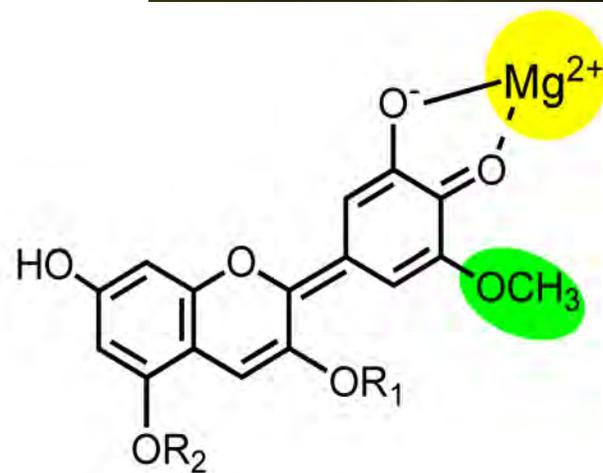
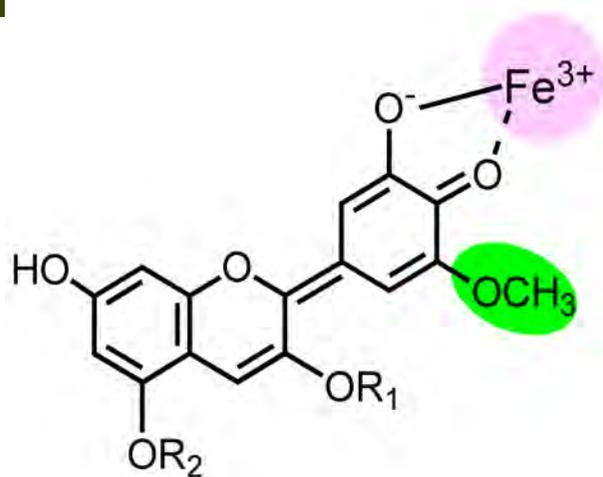
Mg, Mg type



Fe, Mg type

(110 μM, H₂O, 0.1 cm, rt)

ネモフィラ花卉の花色の違いの理由



Yoshida et al., *Tetrahedron*, 2015

これまでに明らかになった5種類のメタロアントシアニン

flwoer

pigment

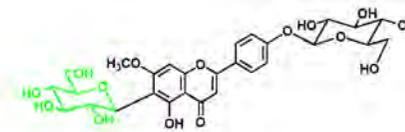
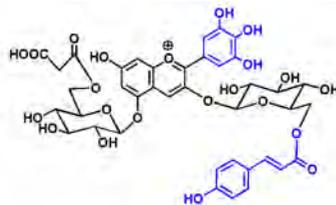
anthocyanin

flavone

Metal ions



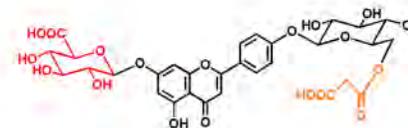
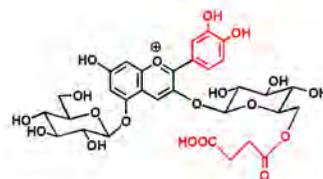
dayflower
commelinin



Mg²⁺



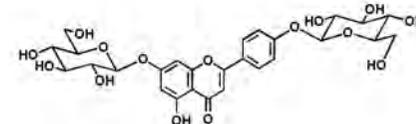
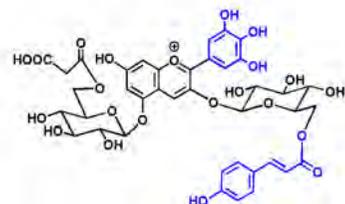
cornflower
protocyanin



Mg²⁺, Fe³⁺



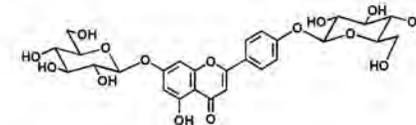
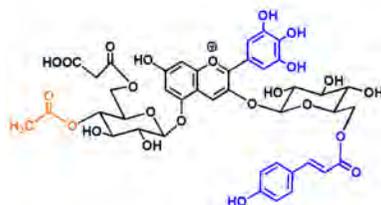
Salvia patens,
Salvia macrophylla
protodelphin



Mg²⁺



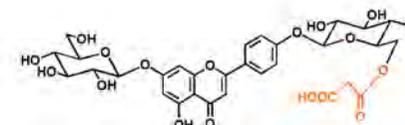
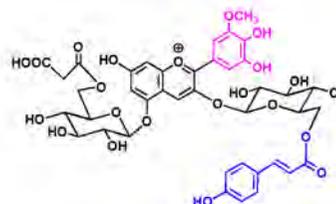
Salvia uliginosa
cyanosalvianin



Mg²⁺



Nemophila menziesii
nemophilin



Mg²⁺, Fe³⁺

アントシアニンの食品利用

赤シソ葉の色素を利用した梅干し漬け

梶山女学園大学
食品衛生学研究室卒論生



さまざまな条件で漬けた梅干しの色(30日後)

^{17}O -NMRによる水分活性の測定

20% 食塩 20% ニガリ 10% 食塩
10% ニガリ 10% 食塩 10% エタノール 5% 食塩
5% エタノール

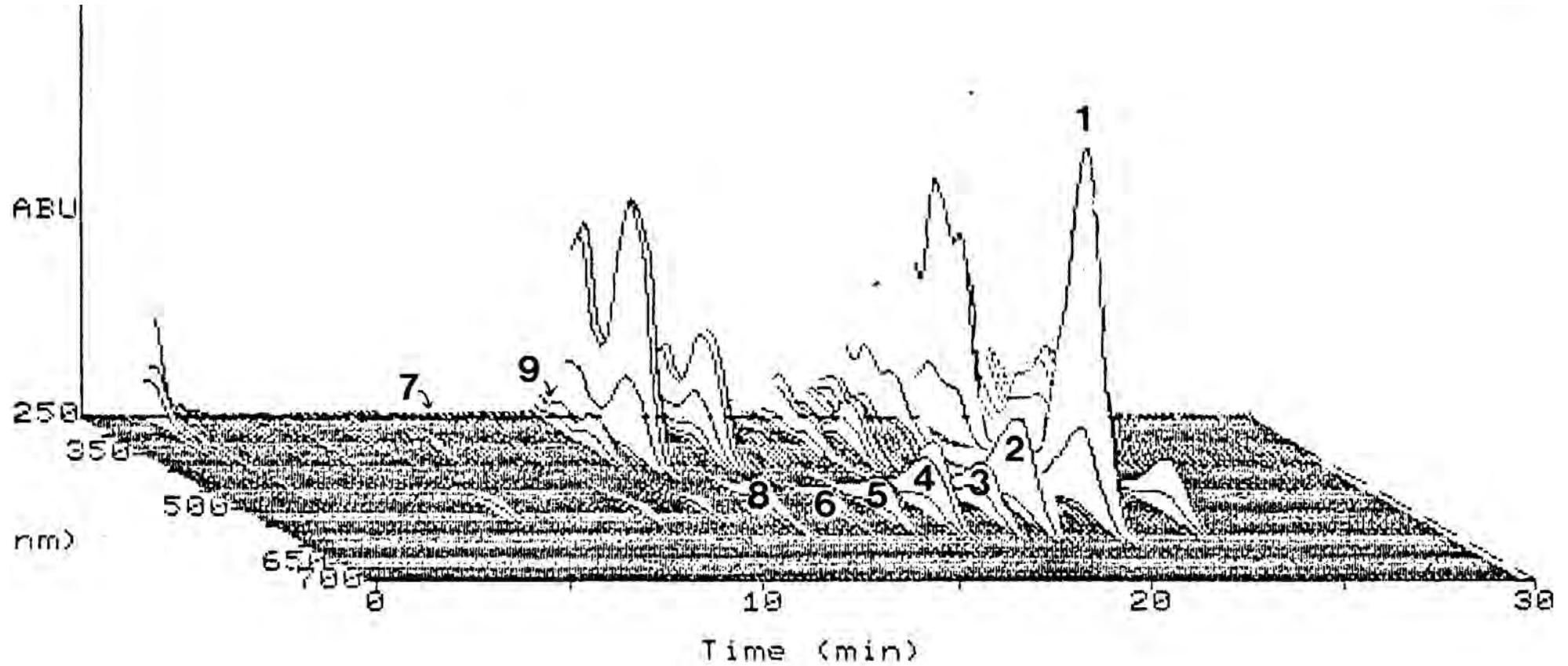
常法

アクを
抜かない

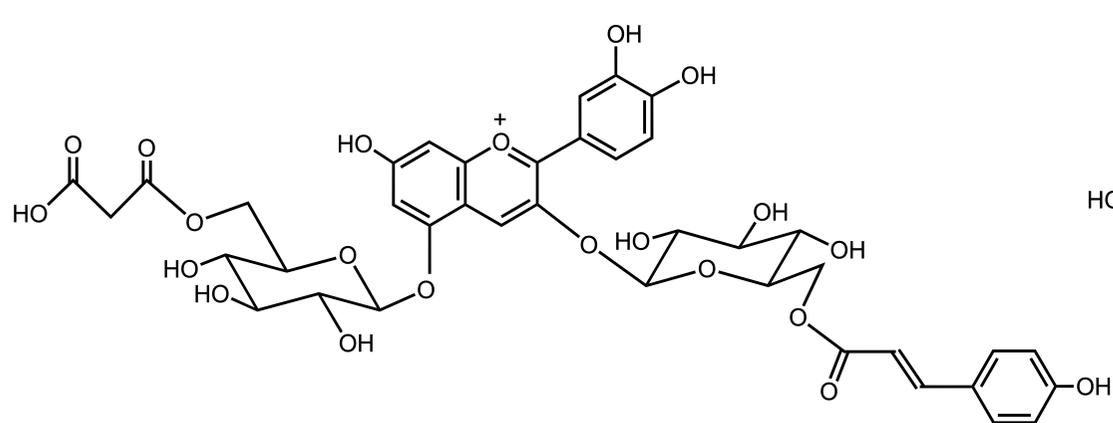
凍結粉碎
シソ葉



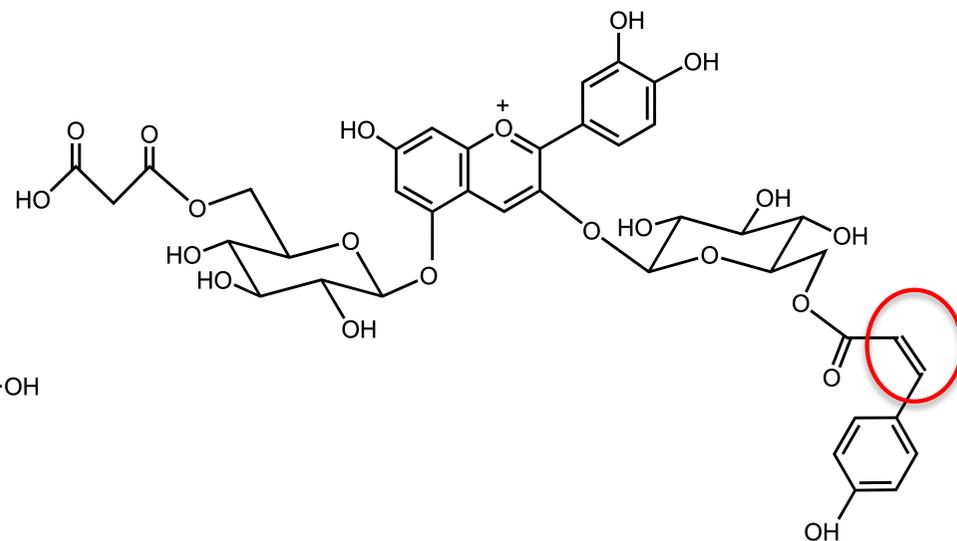
赤シソ葉のアントシアニンの単離と構造



シスケイヒ酸を含むアントシアニンを発見



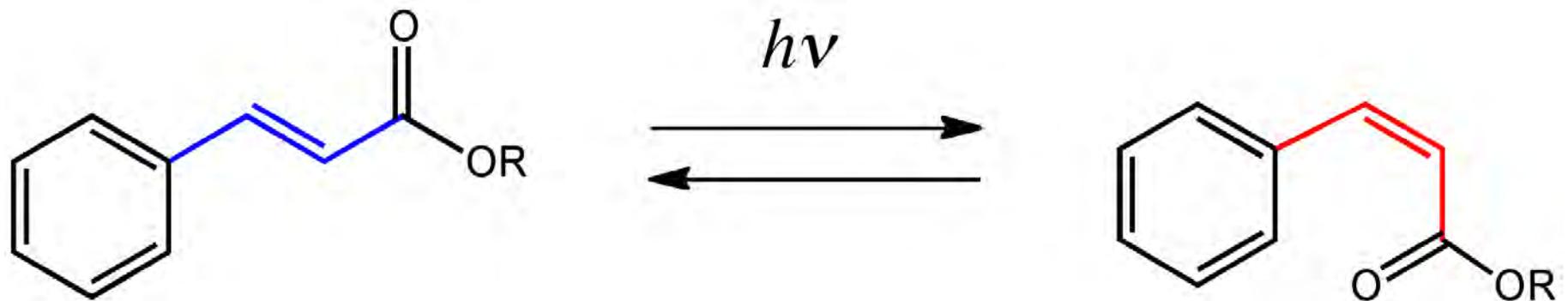
マロニルシソニン



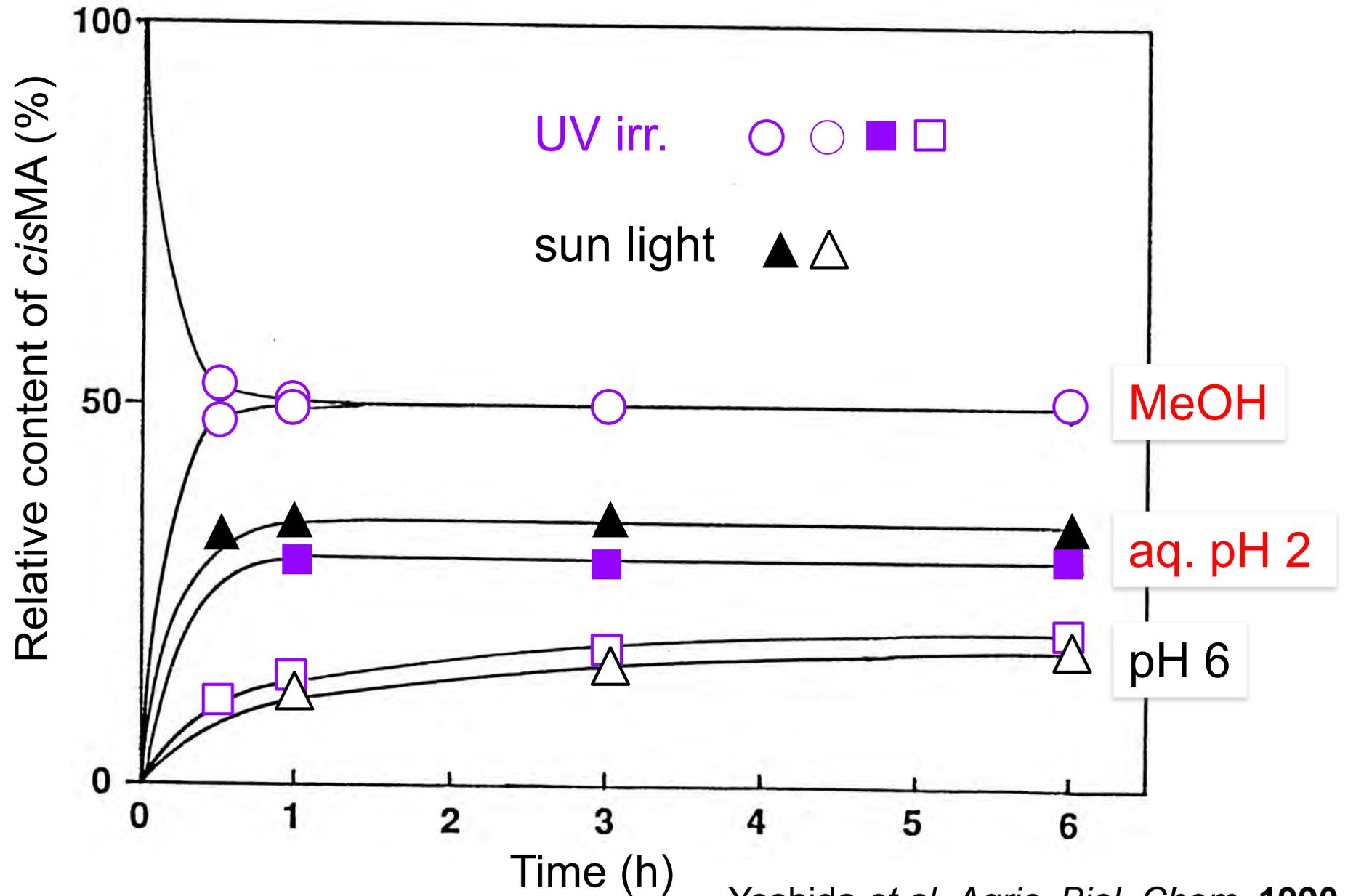
マロニル-**シス**-シソニン

微量色素

ケイヒ酸は容易に光異性化するのに、
アシル化アントシアニンに *cis*-ケイヒ酸残基が
見あたらないのはなぜか？



マロニルシソニンの光異性化



中性希薄水溶液でも安定な多アシル化アントシアニンの分子内会合構造と発色

森美穂子博士
小寺未華修士



デルフィニウム



紫ヤマイモ

リンドウ花卉色素ゲンチオデルフィンの会合構造



Gentiana triflora

溶解 24時間後

リンドウ
色素



ブドウ
色素



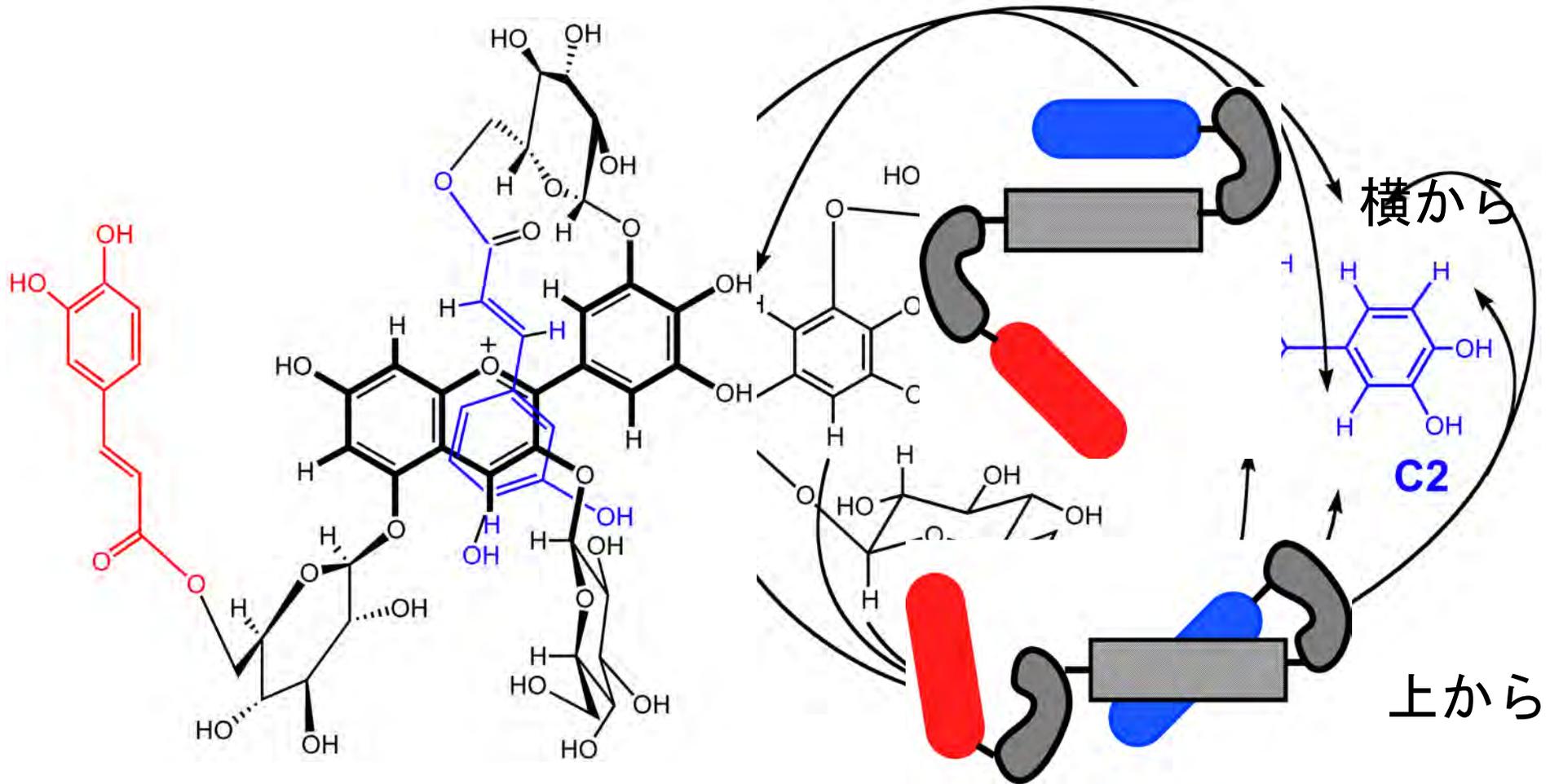
強酸性

中性

塩基性

ゲンチオデルフィンの分子内会合構造

核磁気共鳴スペクトル
コンフォーメーション計算



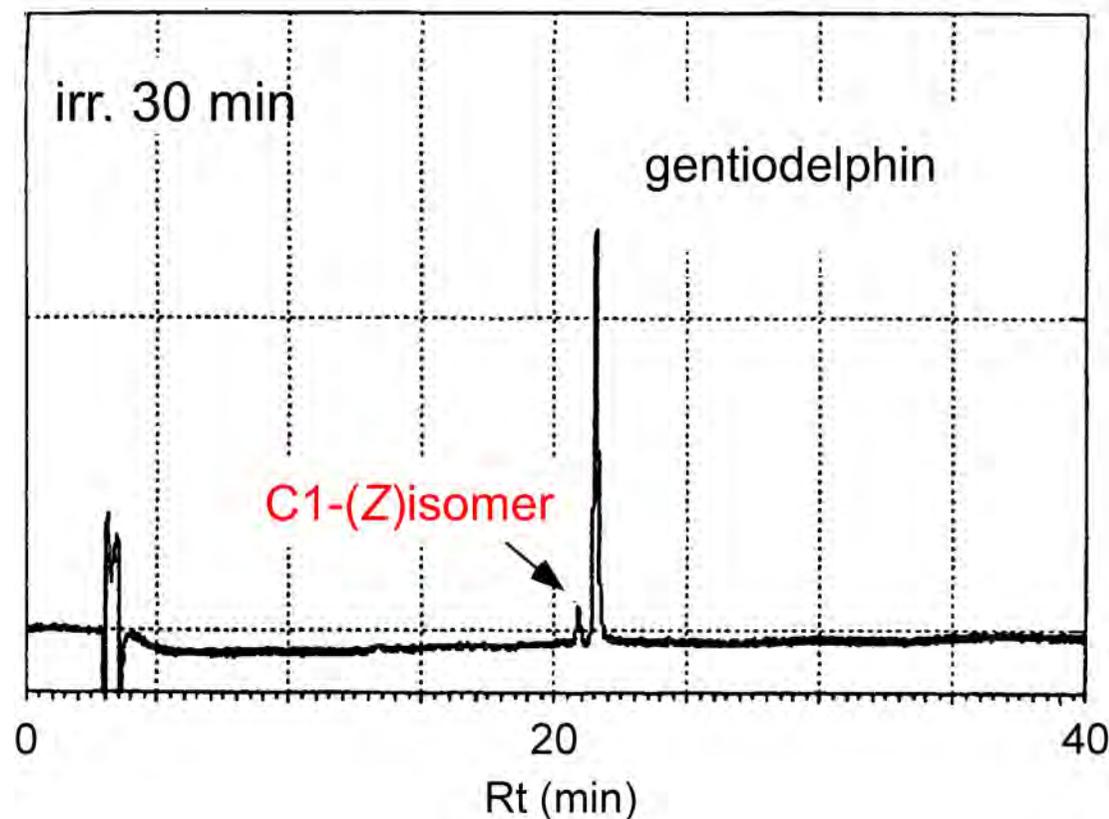
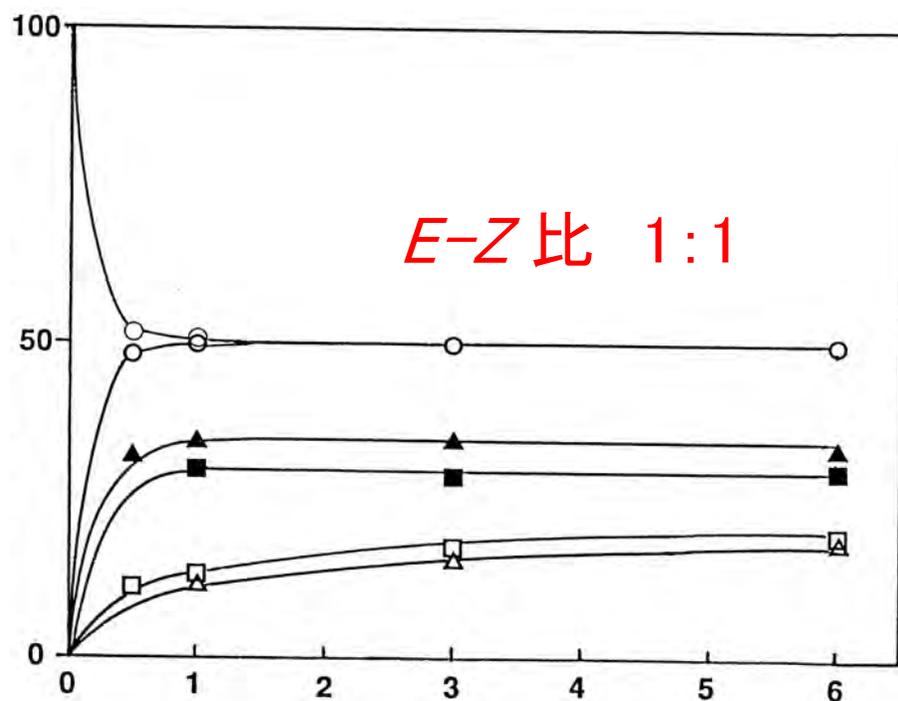
酸性メタノール中

Yoshida et al. *Tetrahedron* 1992

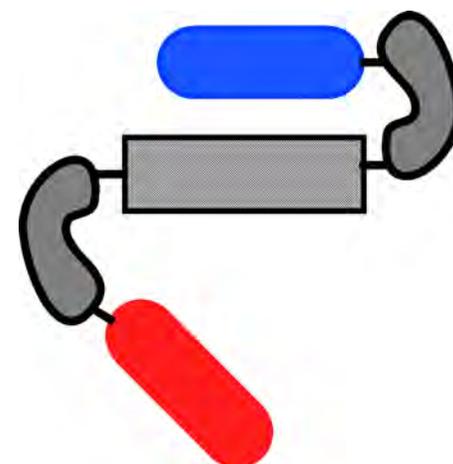
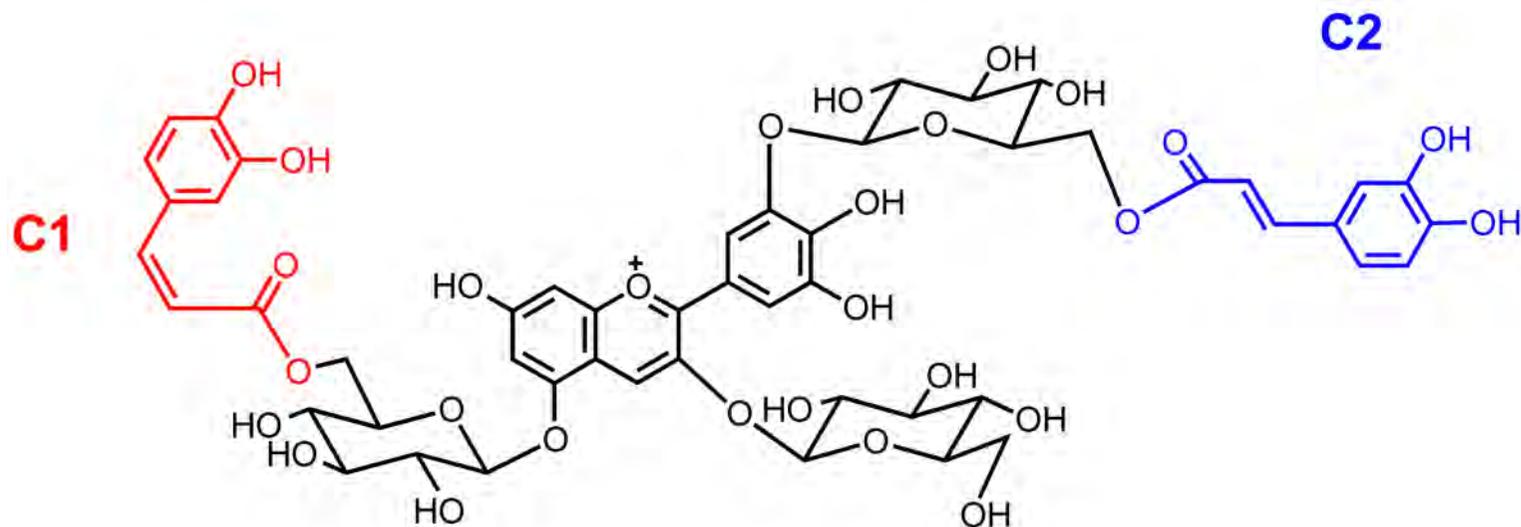
ゲンチオデルフィンにUV照射した反応液 (HBA: 50 mM/0.5% TFA-MeOH, 6.4 mW/cm²)

奥野玲子修士

マロニルシソニンの光異性化



分子会合したアシル基は異性化しない

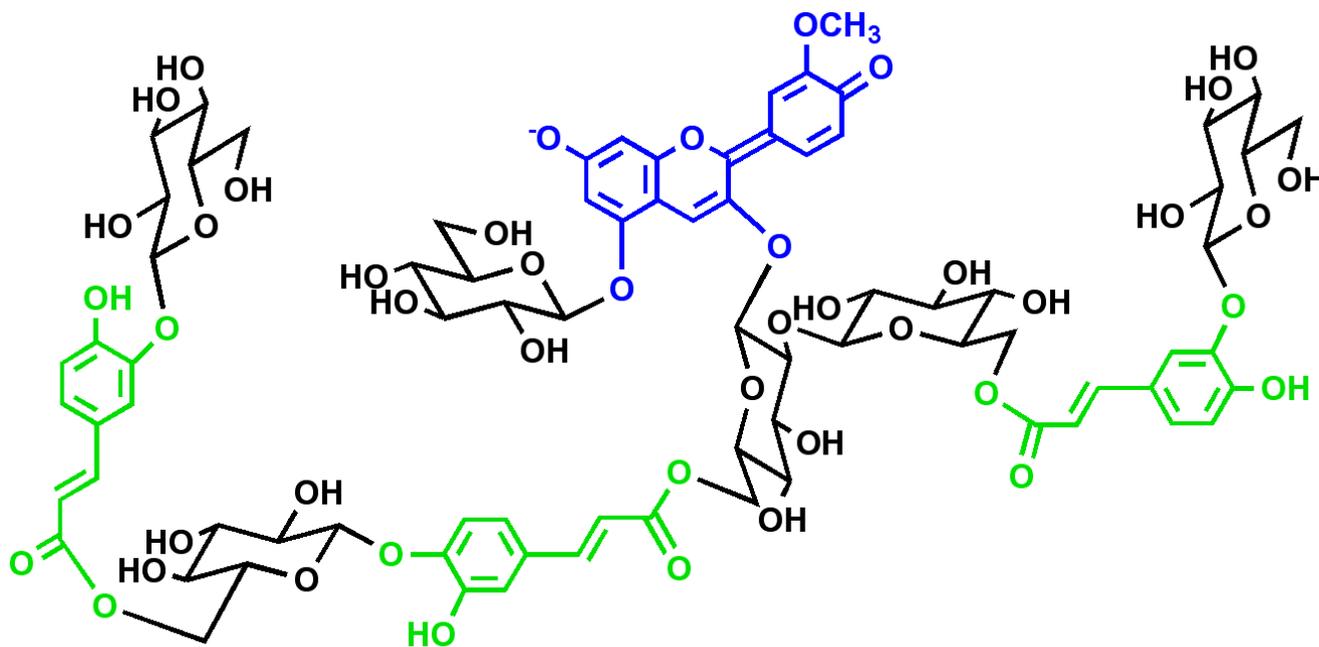


Product	$J_{\alpha,\beta}$ (Hz)		FABMS
	C1	C2	m/z
gentiodelphin	16.0	16.0	1113
irr. product	13.0	16.0	1113

空色西洋アサガオ花卉色素ではどうなのか？



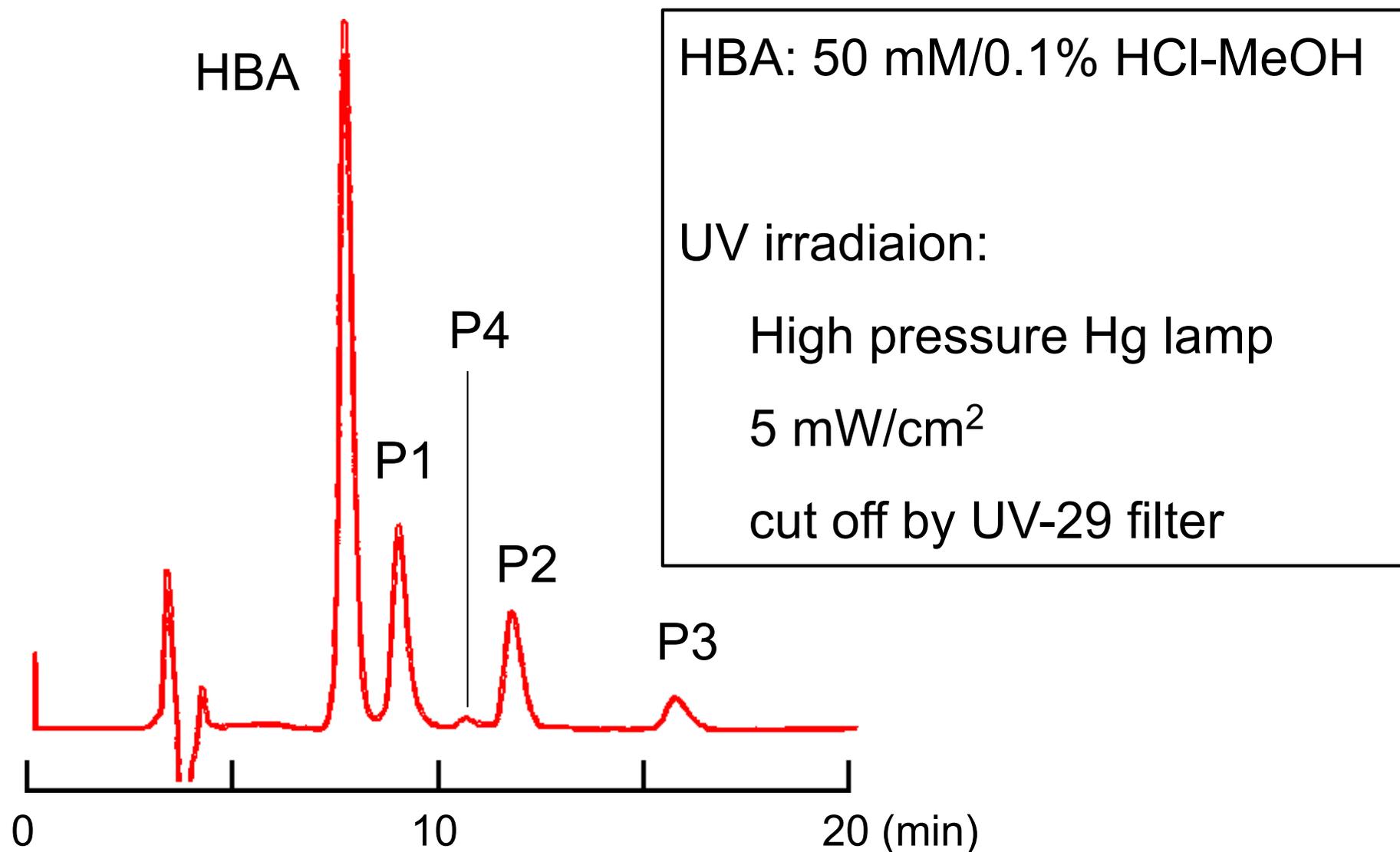
Ipomoea tricolor
cv. Heavenly blue



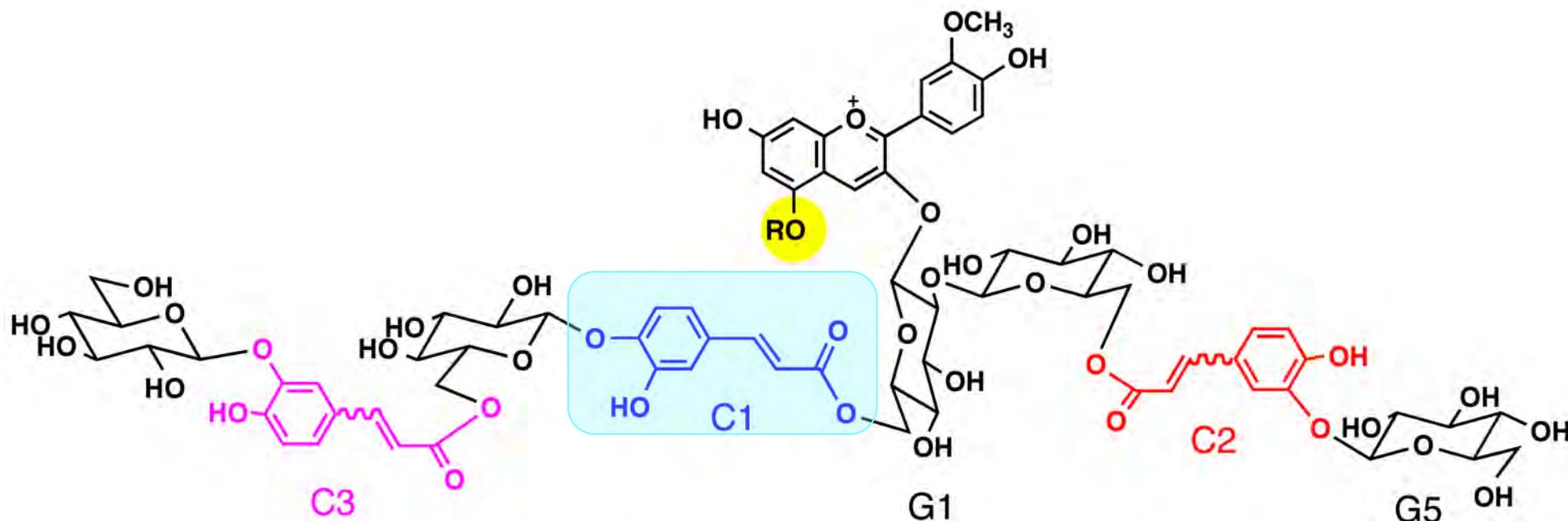
Heavenly Blue Anthocyanin

HBAの酸性溶液にUV照射した反応液

森美穂子博士

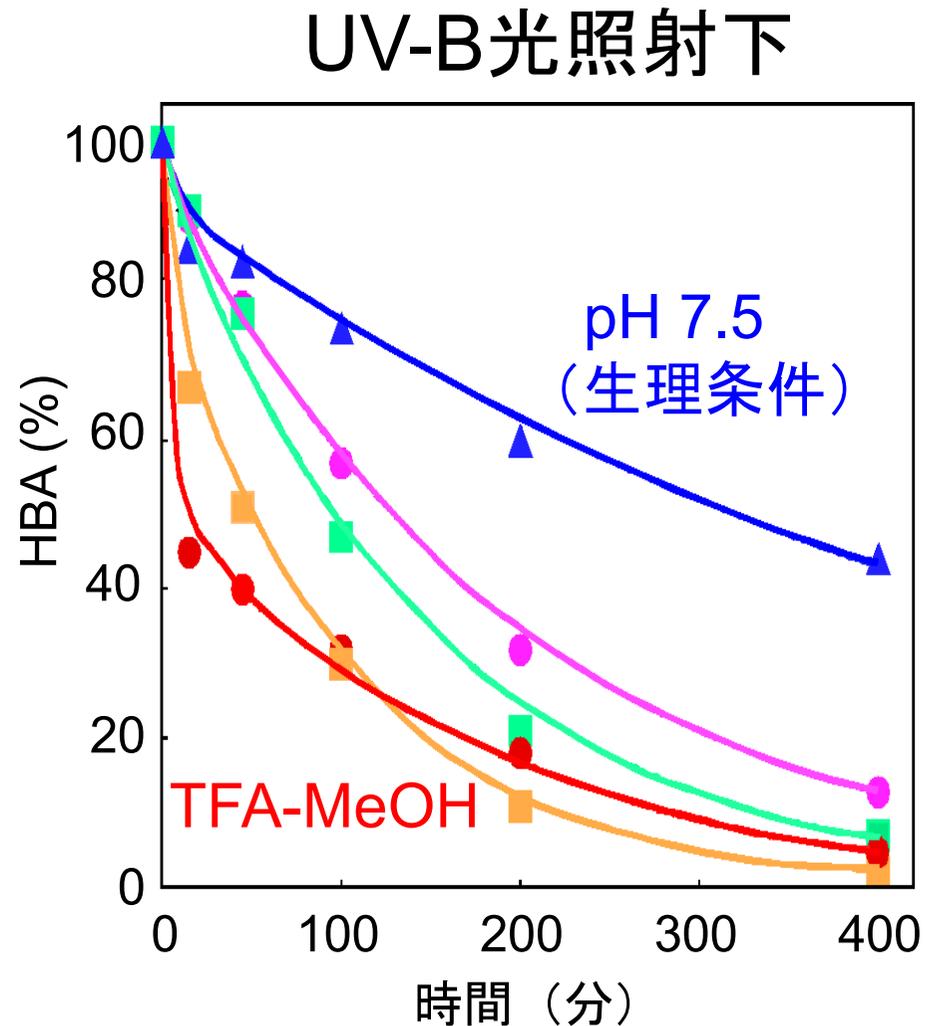
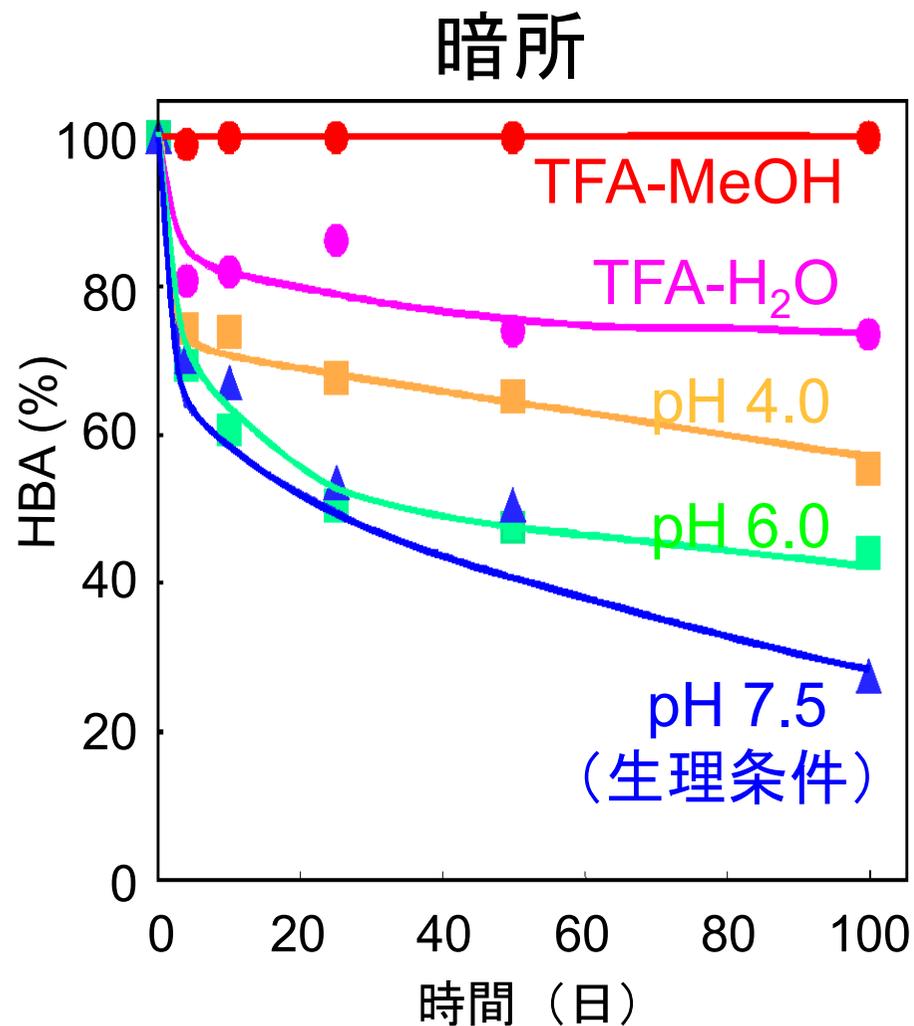


HBAにUV照射して得られた生成物



	R	C1	C2	C3
HBA	β -Glc	E	E	E
P1	β -Glc	E	Z	E
P2	β -Glc	E	E	Z
P3	β -Glc	E	Z	Z
P4	H	E	E	E

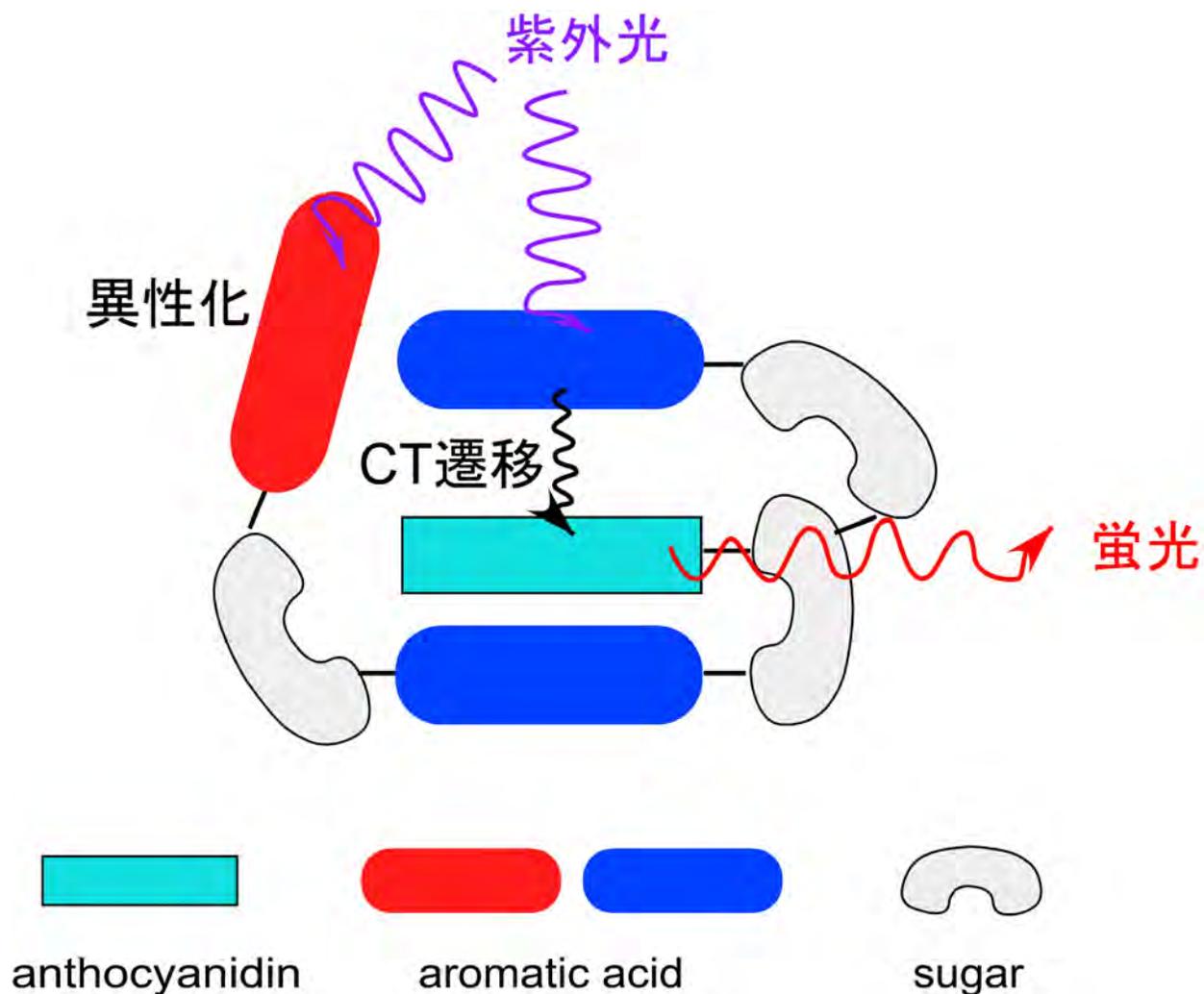
HBAのUV照射下での安定性



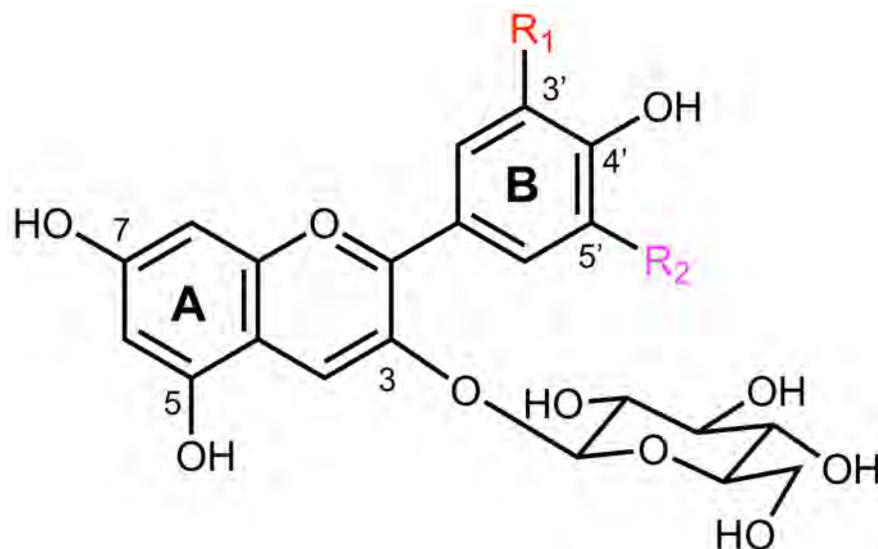
(光源 : 高圧水銀灯, HBA: 5×10^{-5} M, 20° C)

HBAのUV照射下での安定化機構

HBAをフィルターにするとDNAの損傷が抑制される



有色豆種皮の色素は単純でマロニル基は含まない



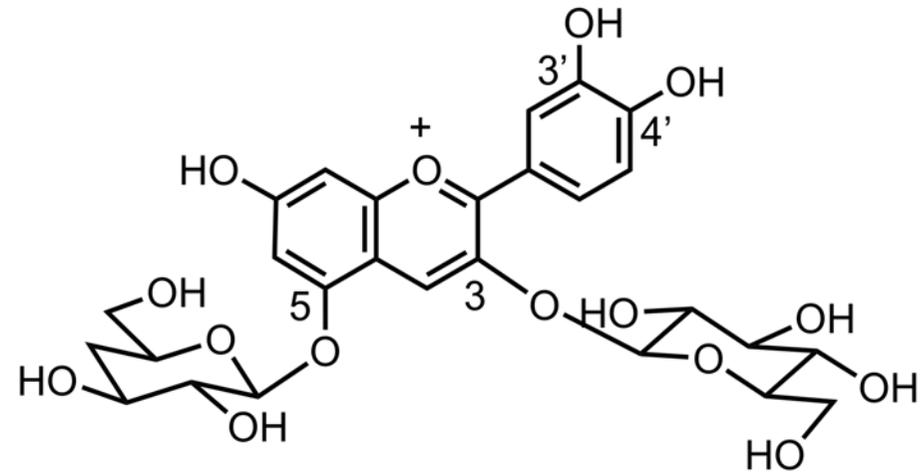
	発色団	R ¹	R ²	含有量 mg/g 乾燥種皮
キントキマメ	ペラルゴニジン	H	H	3.6
クロダイズ	シアニジン	OH	H	15.3
ハナマメ	デルフィニジン	OH	OH	2.2
サルタニマメ	ペオニジン	OCH ₃	H	0.2
ブラックタートル	デルフィニジン	OH	OH	1.8
	ペチュニジン	OCH ₃	OH	1.1
	マルビジン	OCH ₃	OCH ₃	0.6

ササゲ属の赤小豆はどのようなのか？

アントシアニンと言われてきたがほとんど入っていない！

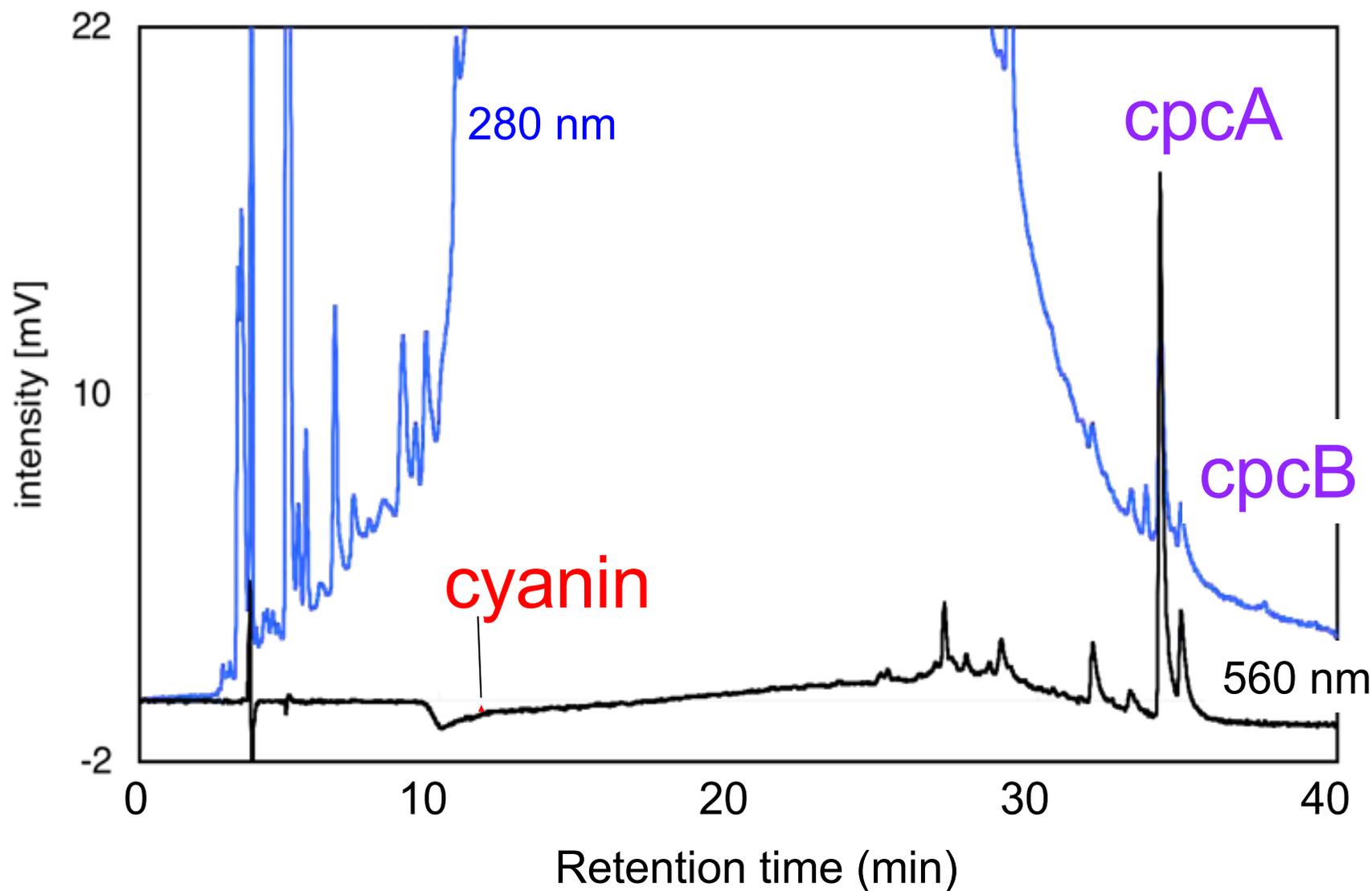


Vigna angularis



0.3 $\mu\text{g/g}$ 乾燥豆種皮

赤小豆からの色素の単離構造決定

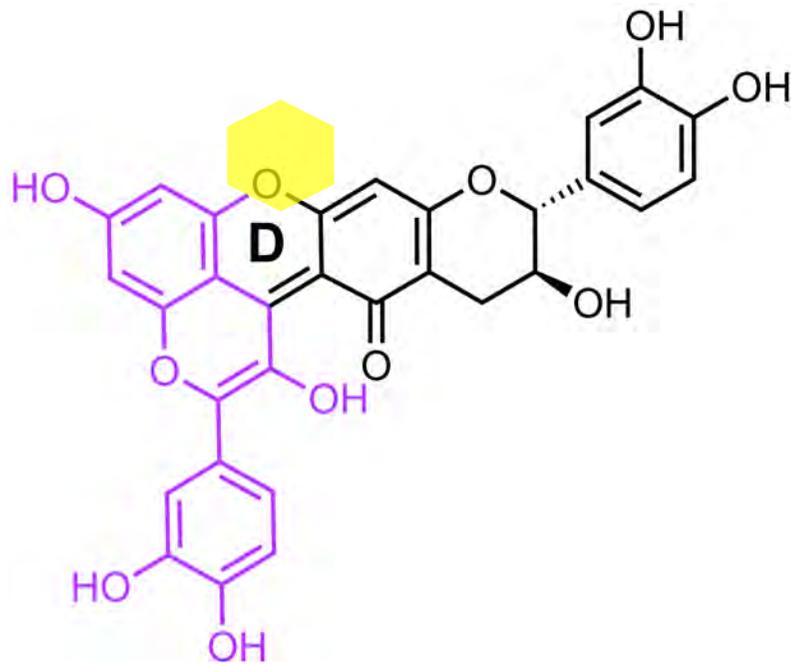


後藤美樹修士
近藤公臣修士
河合加奈修士
小西香織修士
市川由樹修士
永井伸和修士
清水俊順修士
萩原星児修士
吉峰瑞喜学士

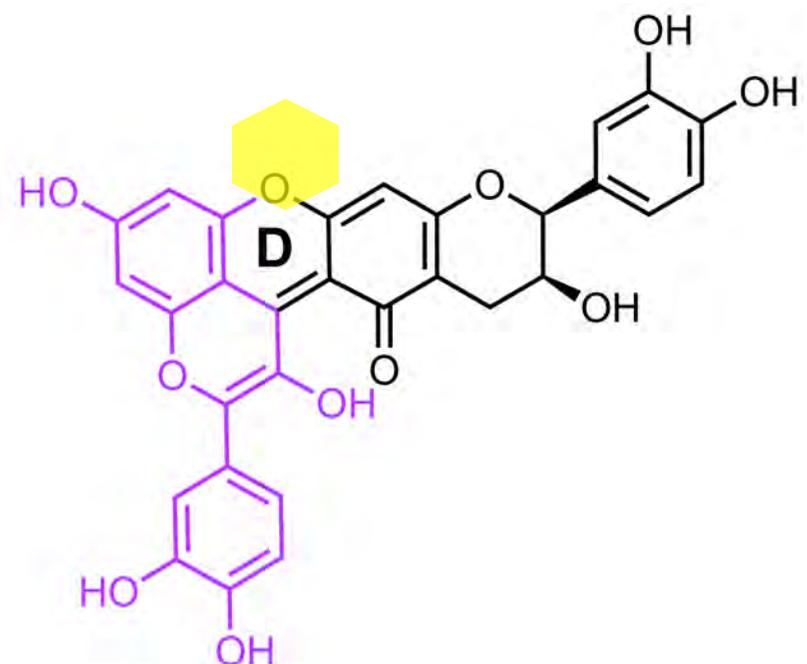
数馬恒平博士
高山陽子修士
浅野友世氏

紫色色素カテキノピラノシアニンA, Bの構造

- ✓ シアニジンとカテキンが縮環(D環)
- ✓ カテキン部分にケトン基
- ✓ カテキン部分の立体が異なる

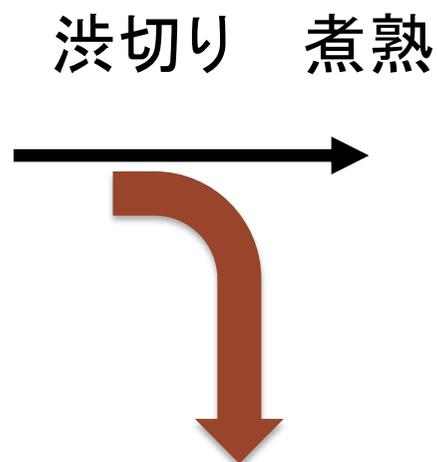


cpcA

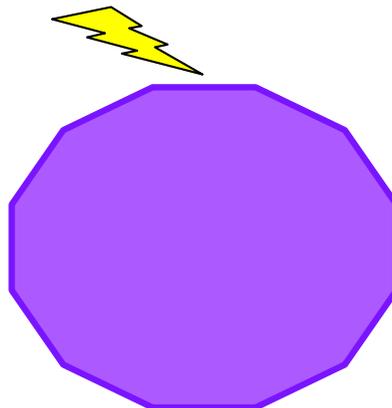


cpcB

製餡加工工程にある化学



熱変性したタンパク質を
含む脂質二重膜



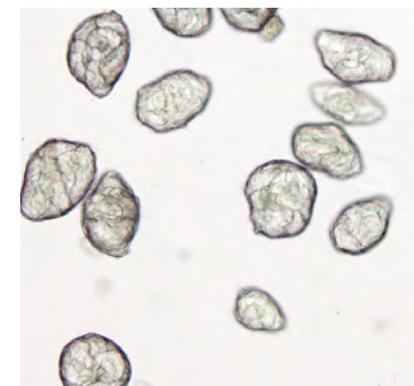
紫色色素が
吸着

プロシアニン類
褐色重合色素

(水溶性)

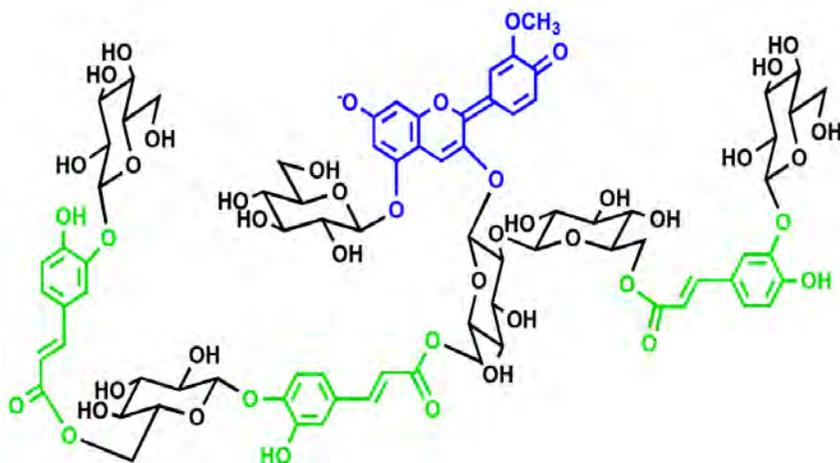
餡粒子
(細胞内でデンプンが
 α 化)

餡粒子表面が着色



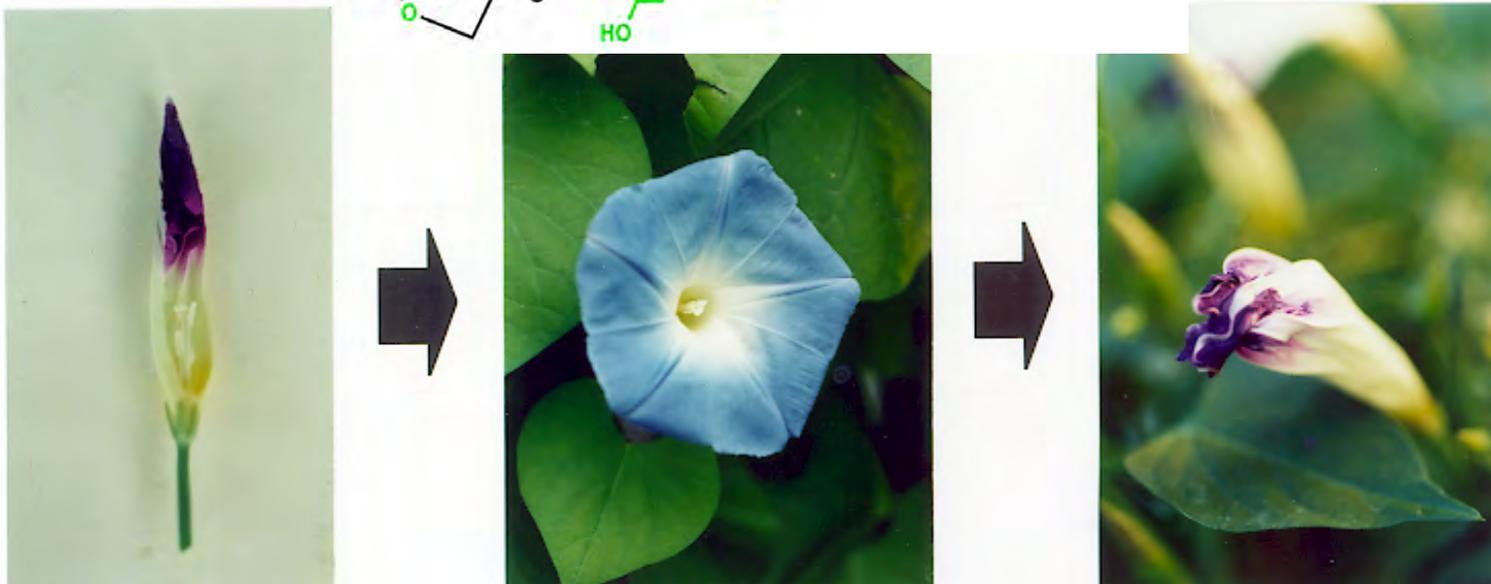
空色西洋アサガオはなぜ開花時に色が変わるのか？

色素は開花前後で同一



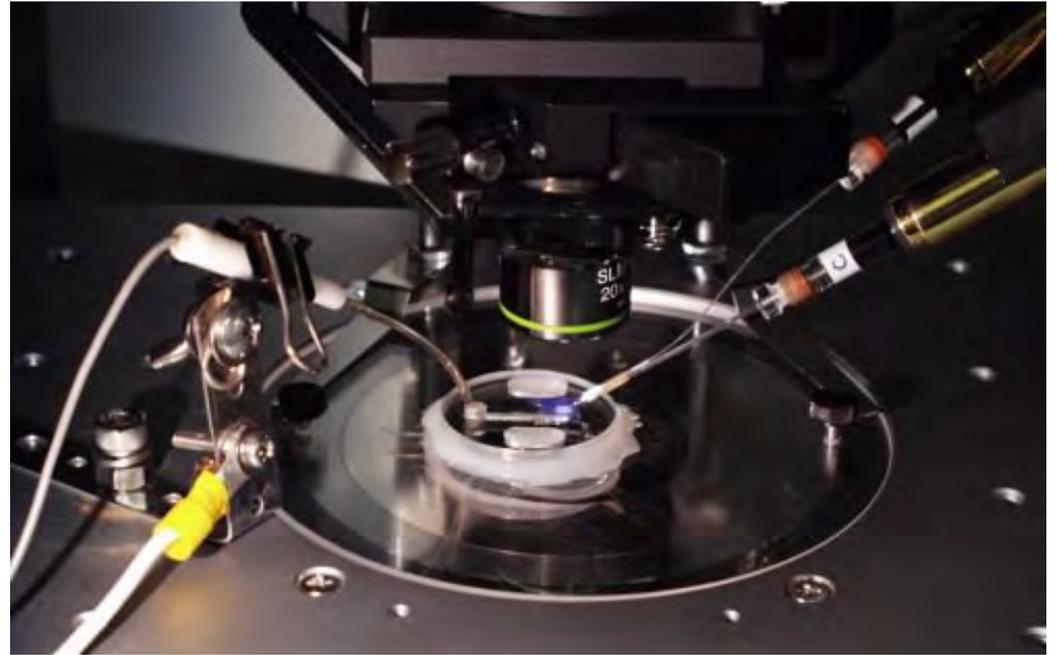
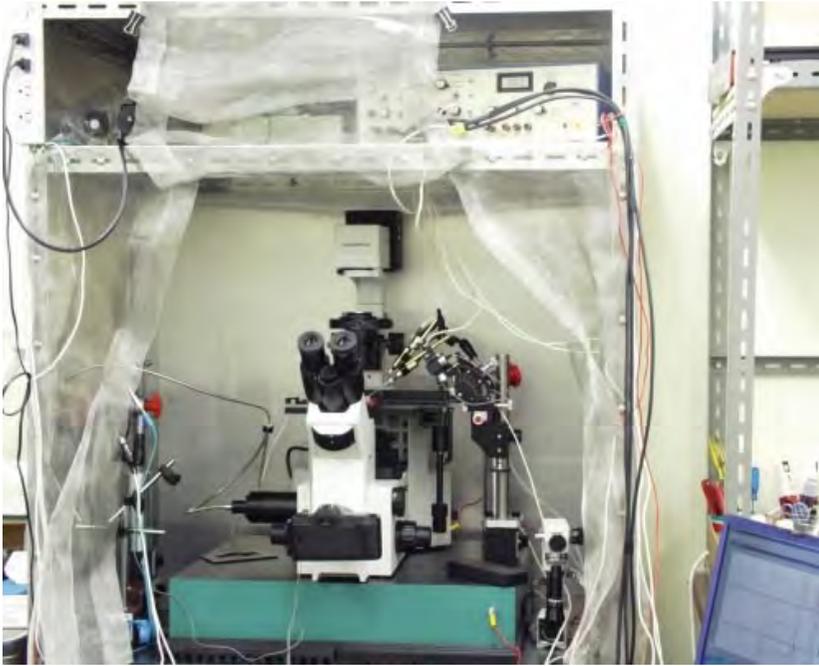
森美穂子博士
小寺未華修士

三木直子修士
河内美樹博士

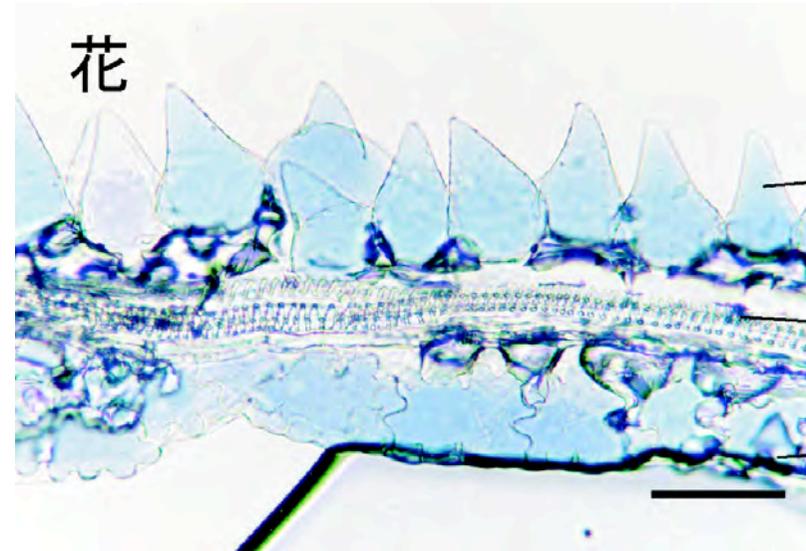
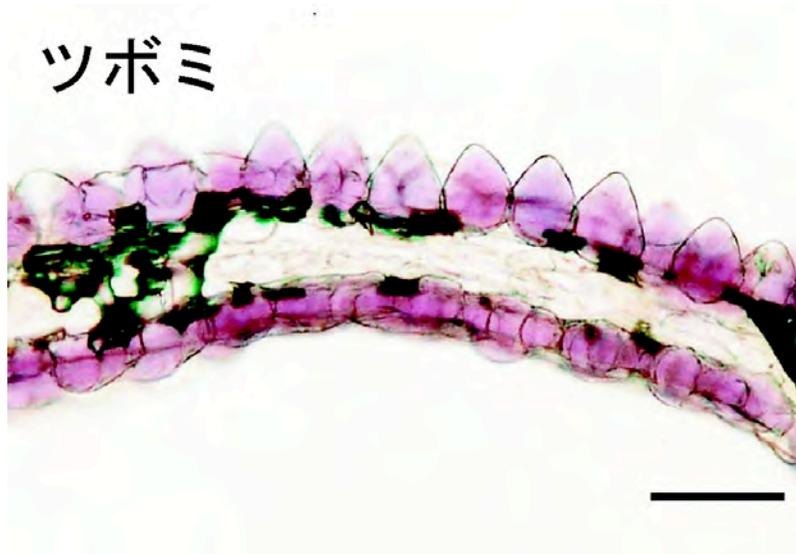


Ipomoea tricolor cv. *Heavenly blue*

微小電極による液胞pH測定システム



アサガオ花卉の液胞pHは開花時に上昇した



bar: 50 μm

ツボミ

花

液胞pH

表層着色細胞

pH 6.6

pH 7.7

無色柔細胞

pH 5.8

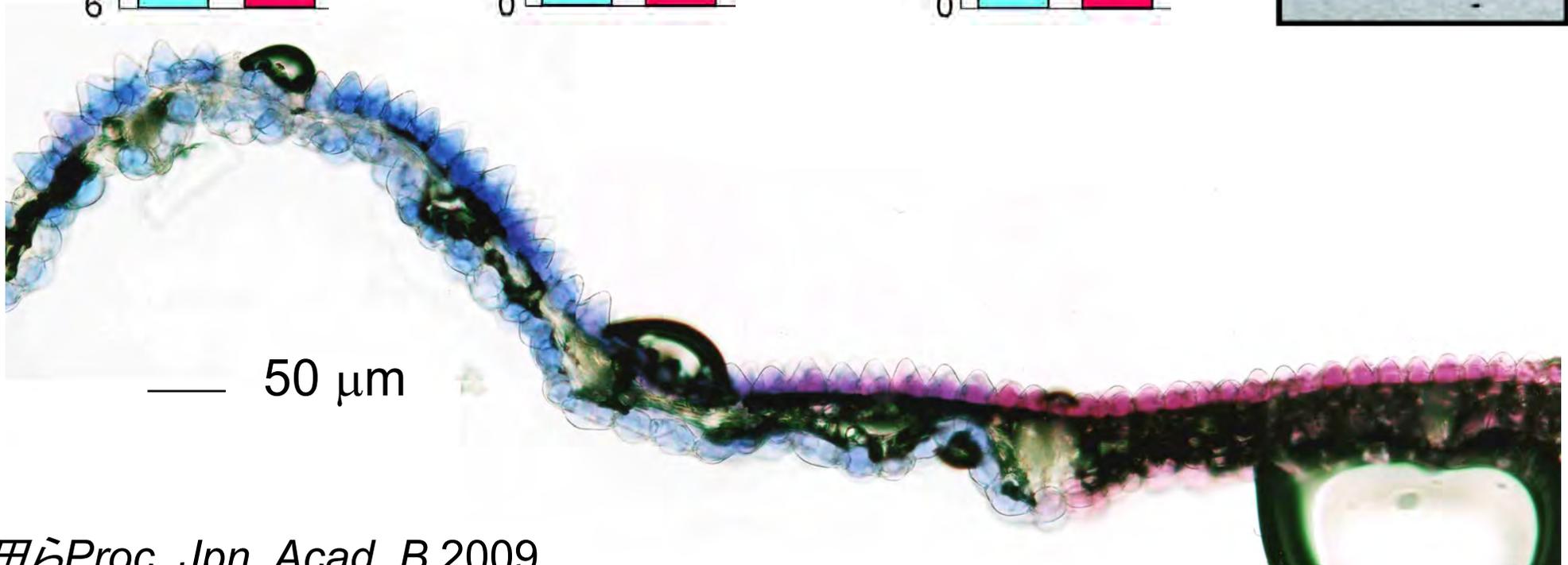
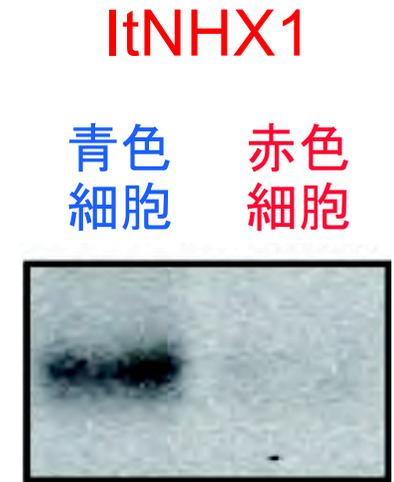
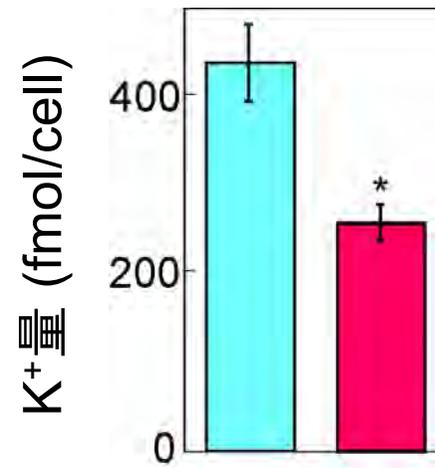
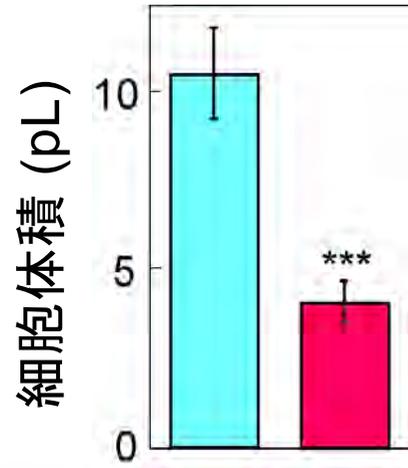
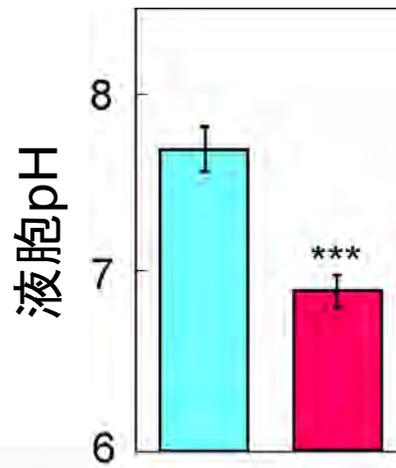
pH 6.0

Yoshida et al., *Nature* 1995

なぜ液胞pHはアルカリ化するのか？

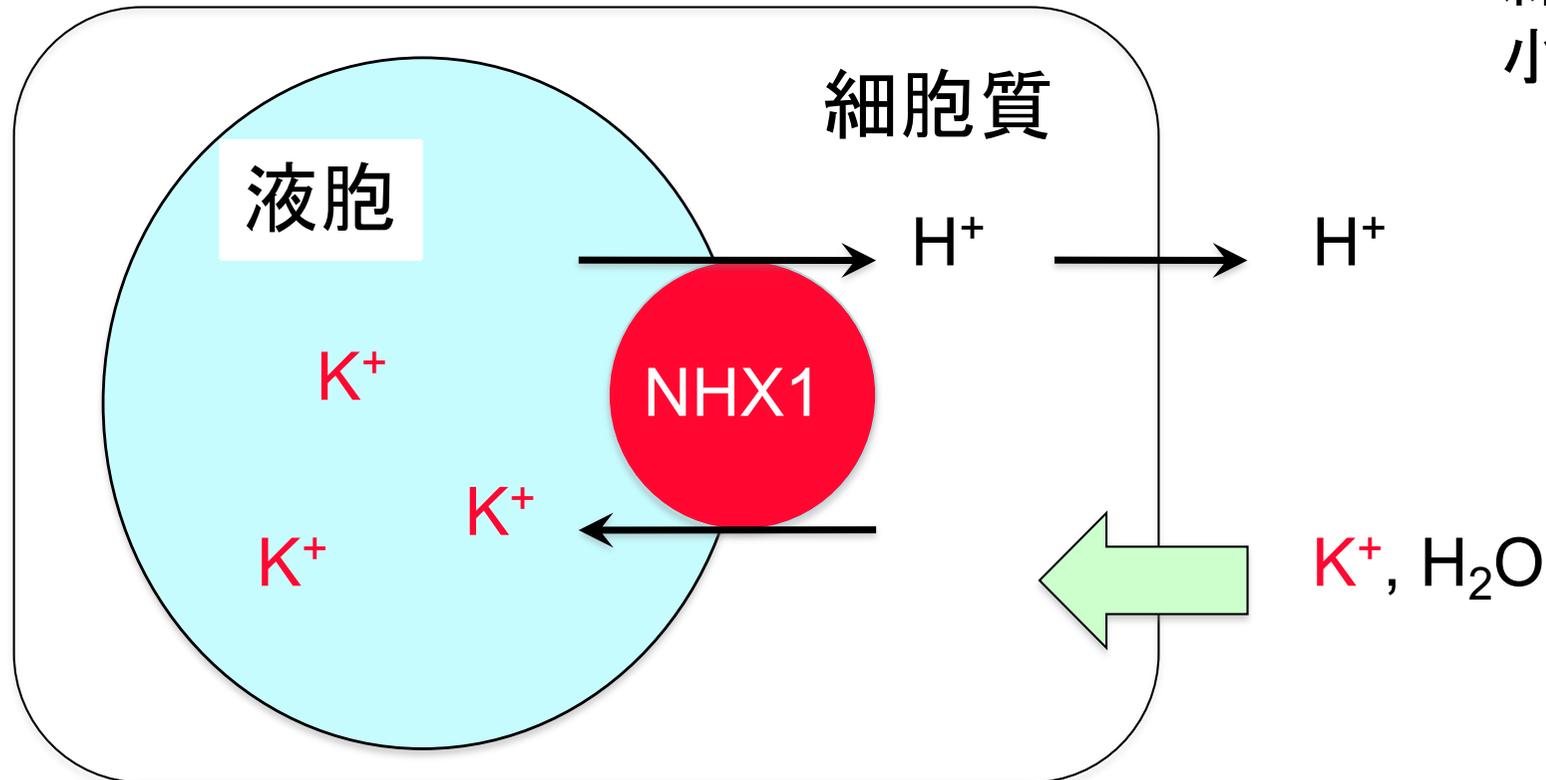


赤い細胞は小さく、 K^+ 量が低くItNHX1量が低い



空色西洋アサガオが青く咲く理由

三木直子修士
森美穂子博士
小寺美華修士



NHX1が液胞内に K^+ を運んで浸透圧を上げることで水を流入させ、細胞体積が増大し花が開く。

液胞pHは結果的に上昇して、花弁は青色となる。

さまざまな青色花の発色機構

森美穂子博士
桃井千巳博士
鬼塚丈矢修士



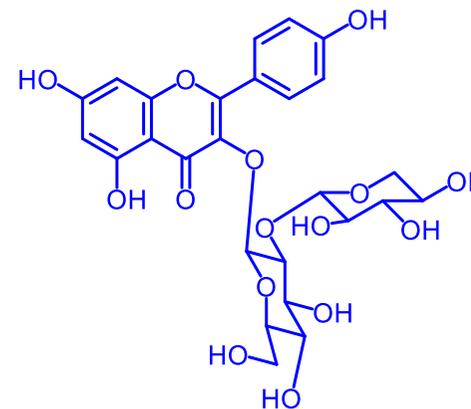
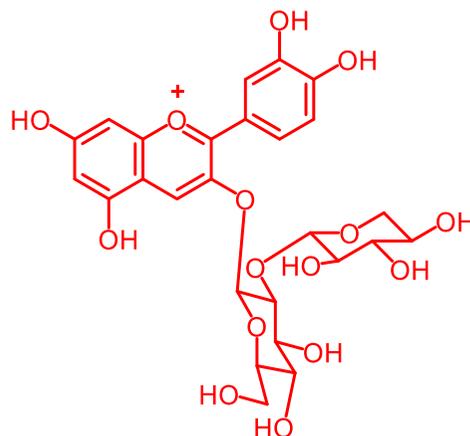
根岸孝至博士
荘司和明博士



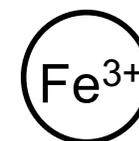
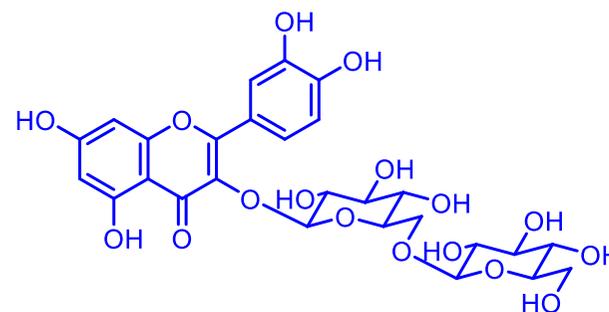
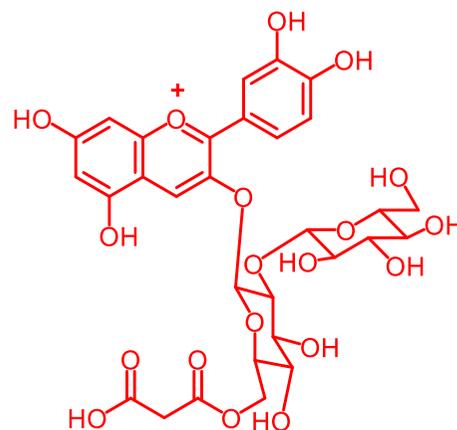
鉄イオンを必須とする青色発色機構



Corydalis ambigua



Meconopsis grandis



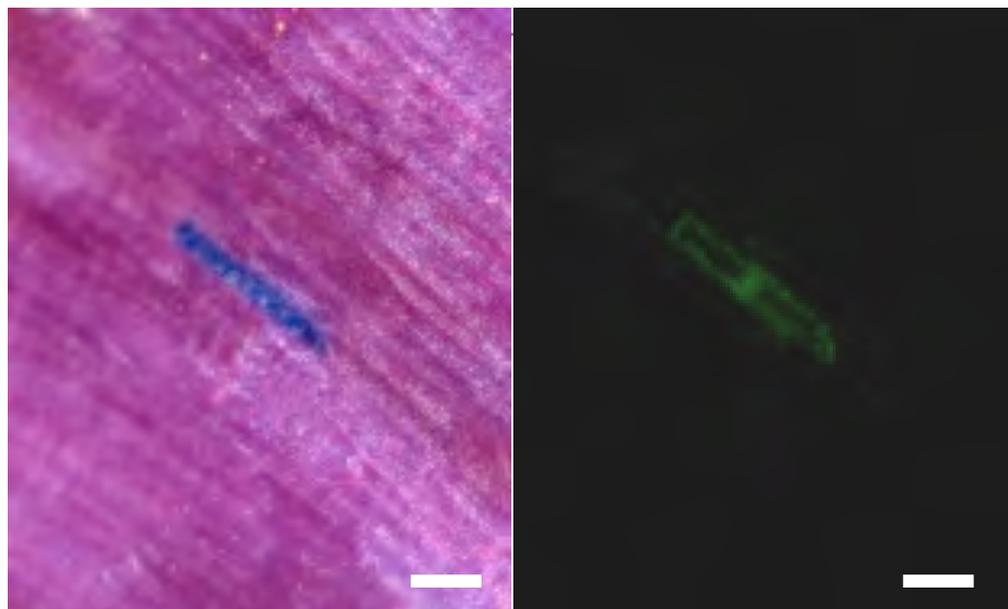
Yoshida, K., et al., *Phytochemistry*, **67**, 992-998 (2006).

液胞型鉄輸送体による花色の青色化

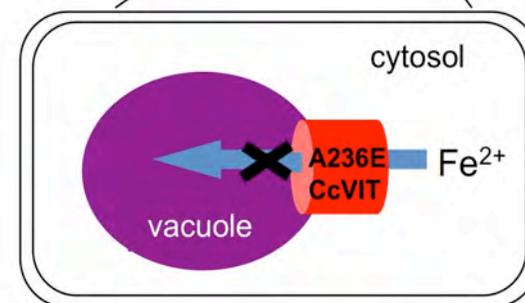
桃井千巳博士

根岸孝至博士

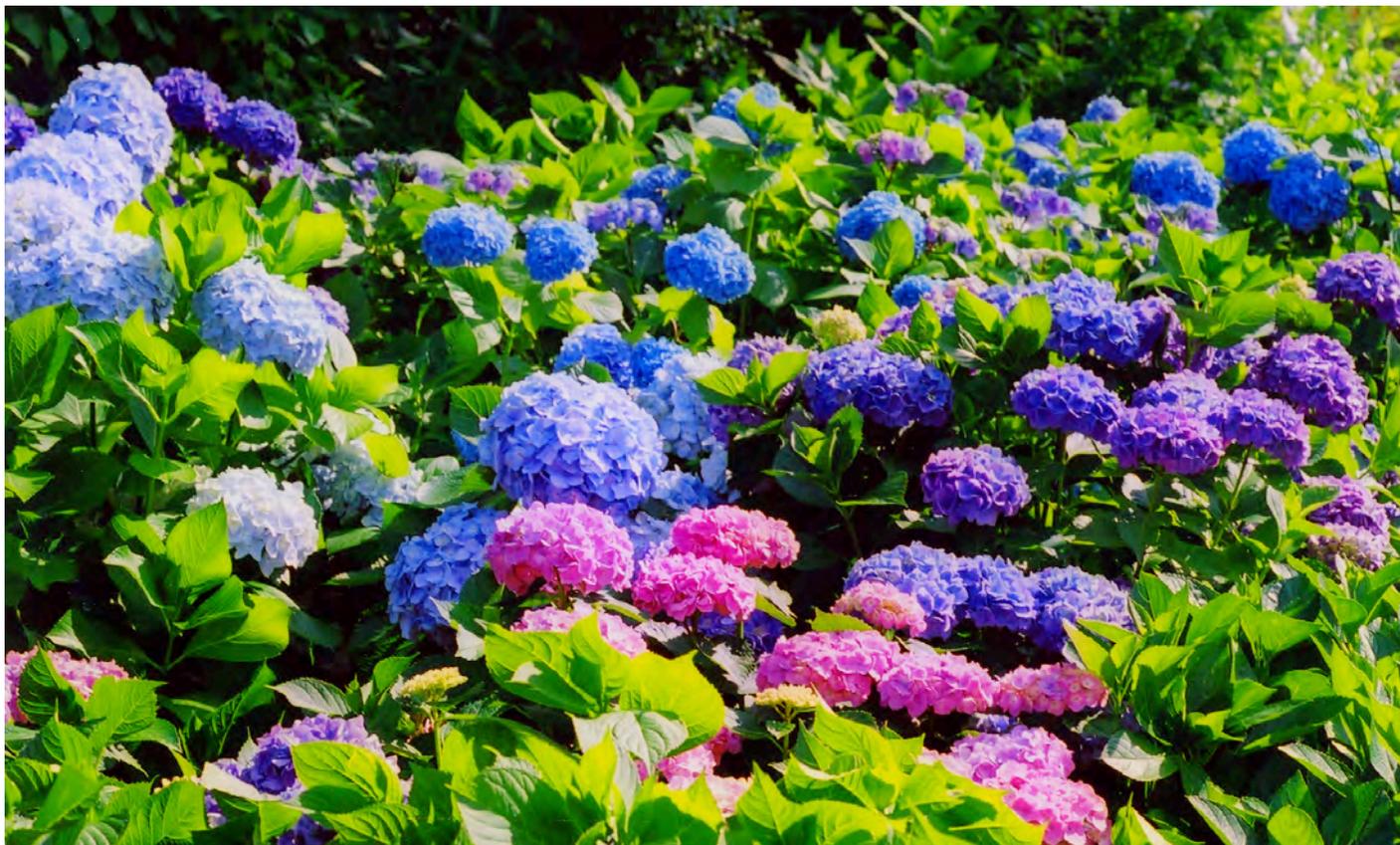
チューリップ



ヤグルマギク



アジサイはなぜ花色が容易に変わるのか



Hydrangea macrophylla

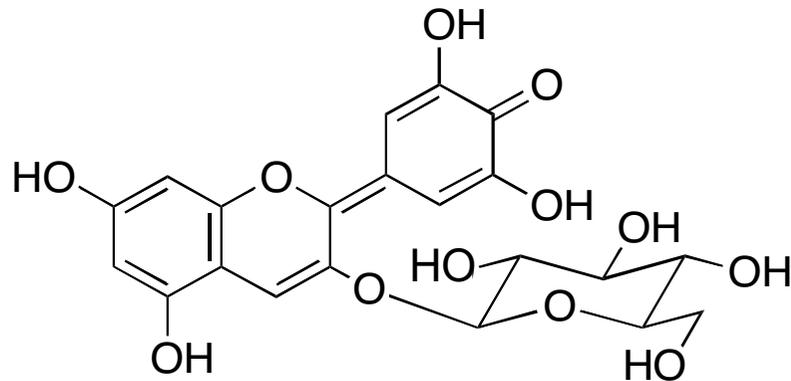
三ヶ根山(愛知)

加藤友紀博士
伊藤大輔博士
伊藤誉明博士
新海陽介修士
鈴木昌子修士
関口由紀子修士
川田洋之修士
渡邊紀之修士
大原健史修士
中林由香里修士
山田智美修士
田内翔子修士
石原健広修士
百合草裕貴学士
海野由佳学士
尾山公一博士

高橋英之博士
根岸孝至博士
三木直子修士

アジサイガク片の発色に関する成分

アントシアニン

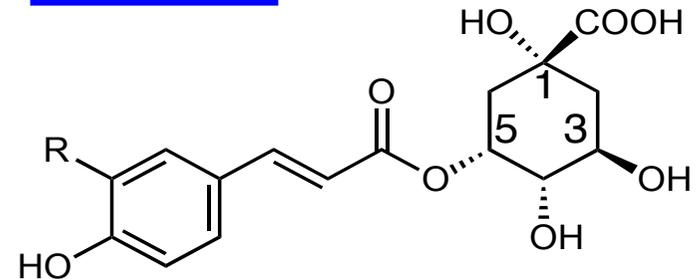


デルフィニジン3-グルコシド
(Dp3G)

金属イオン

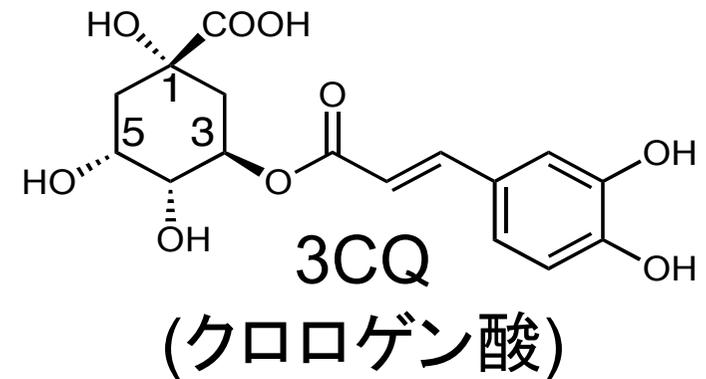


助色素



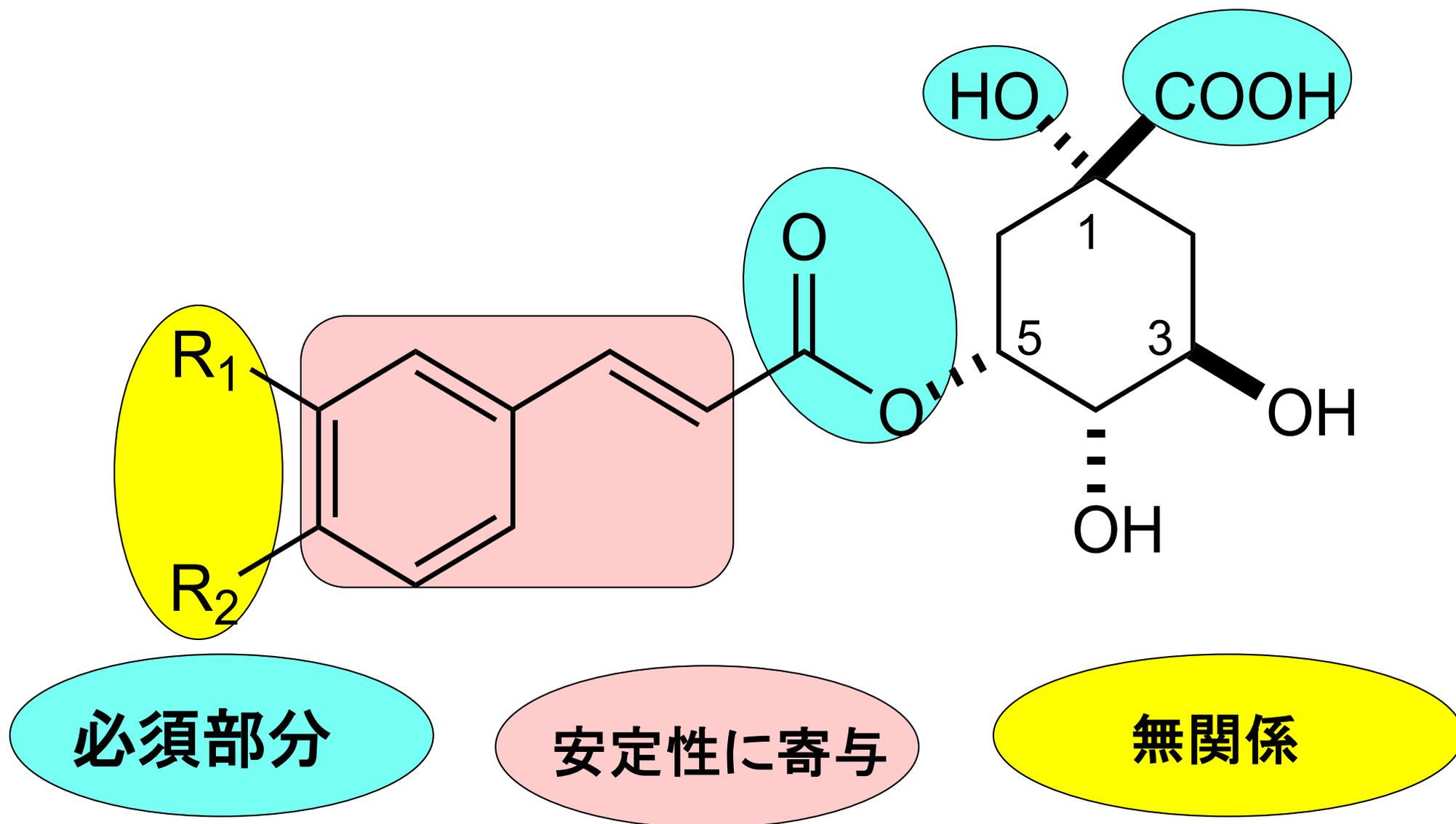
R=OH : 5CQ
(ネオクロロゲン酸)

R=H : 5pCQ

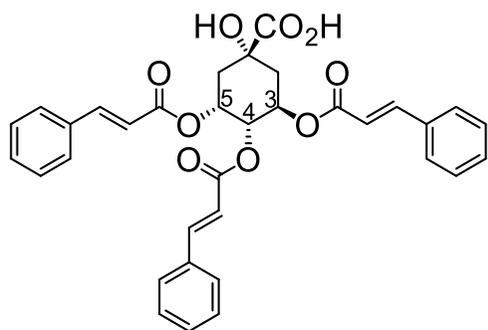


青色錯体の再合成による化学構造解明

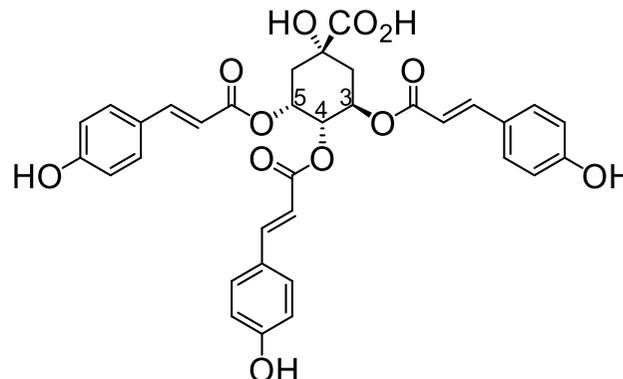
助色素の合成によりどの部分が色に関与するのかを解明



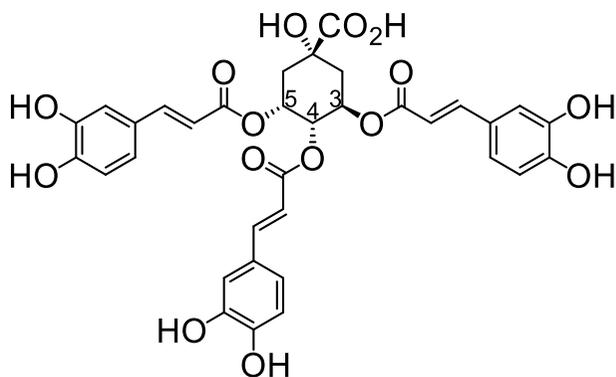
アシルキナ酸類の合成力をアミロイドβ凝集阻害へ展開



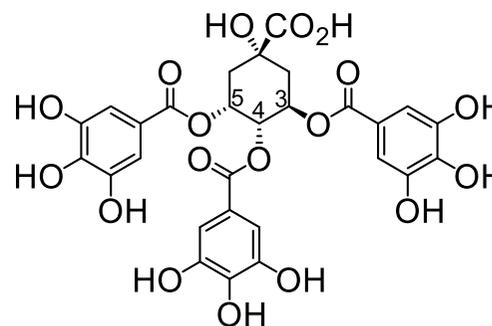
cinnamoyl-
(3,4,5-tri-CIQ) 58%



p-coumaroyl-
(3,4,5-tri-*p*CQ) 32%



caffeoyl-
(3,4,5-tri-CQ) 31%



galloyl-
(3,4,5-tri-GaQ) 11%

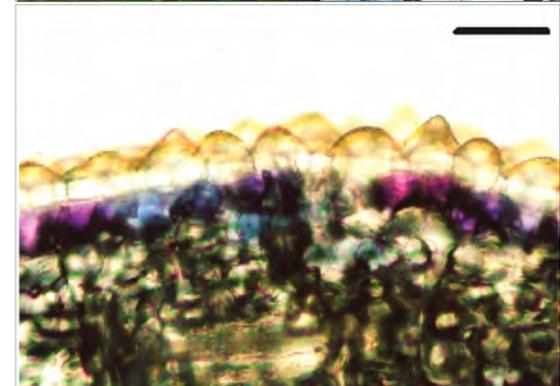
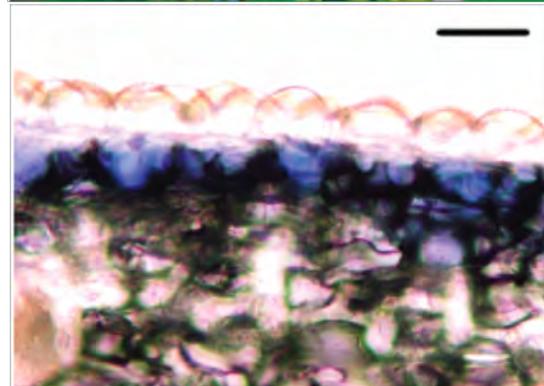
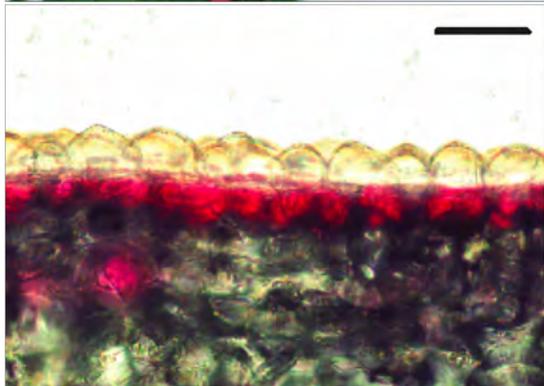
3 steps, overall yield from (-)quinic acid

様々なアジサイのガク片切片とプロトプラスト

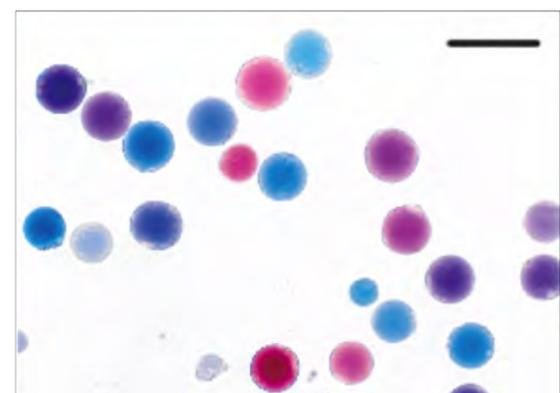
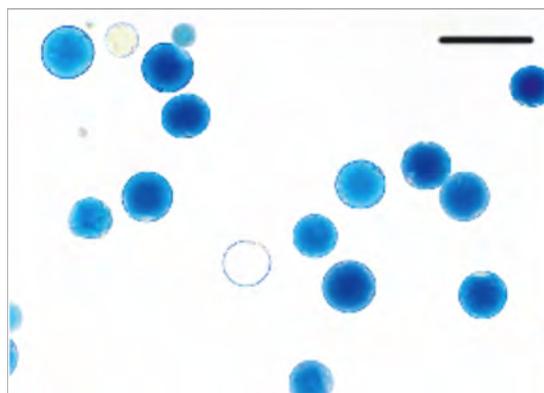
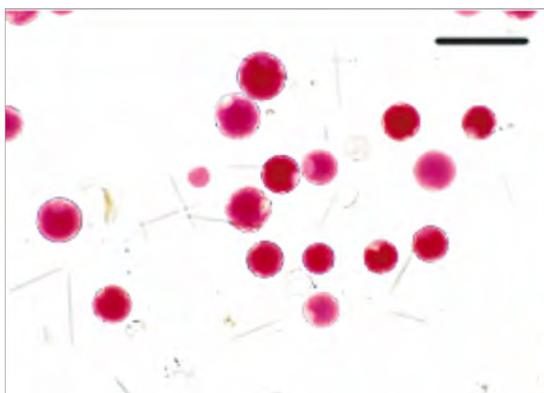
ガク片



切片

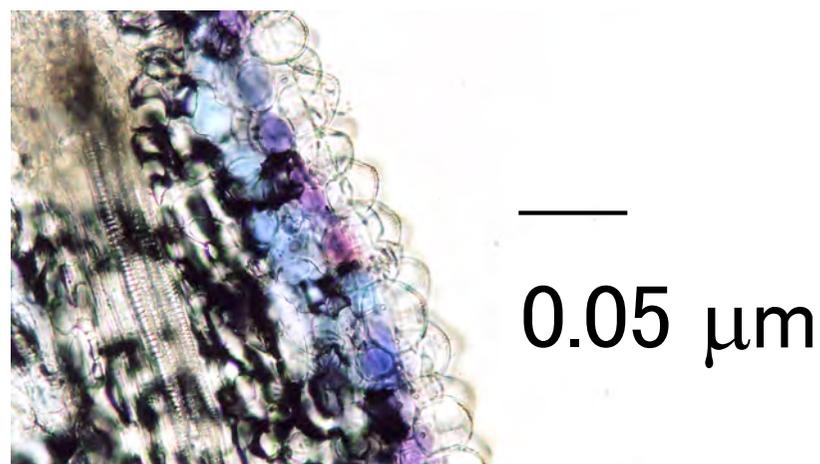


プロトプラスト

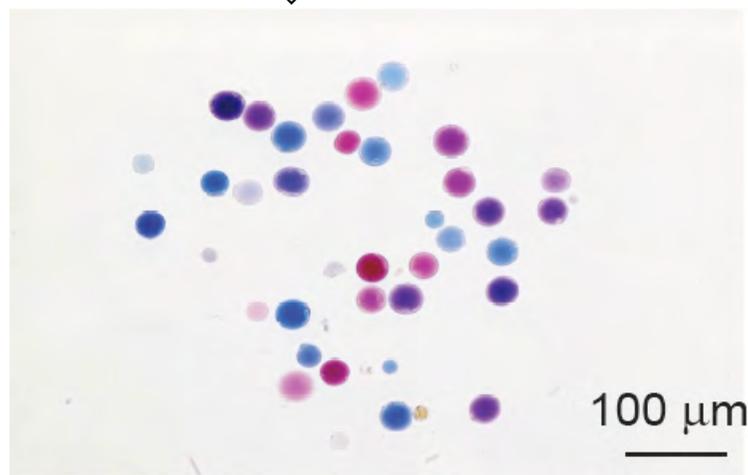


Bar : 50 μ m

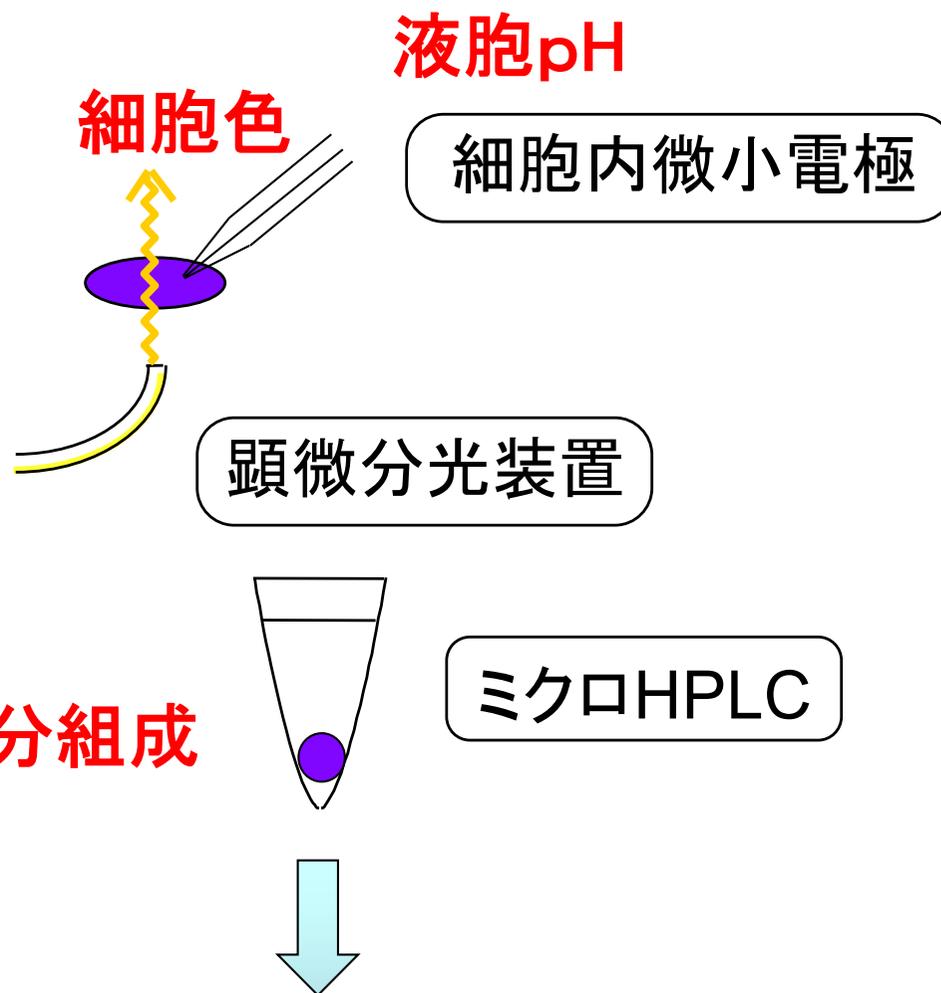
どうやって花色変異を研究するか



酵素処理



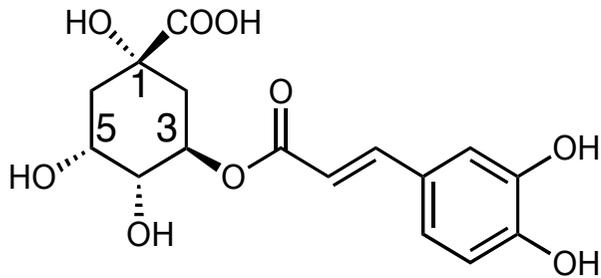
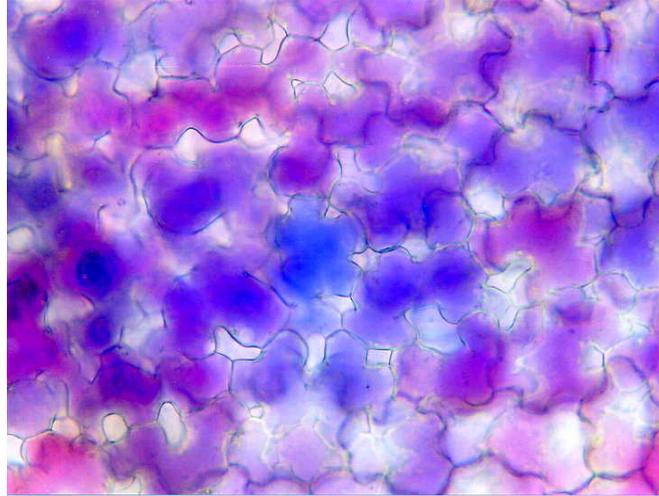
プロトプラスト混合物



成分の混合による細胞色の再現

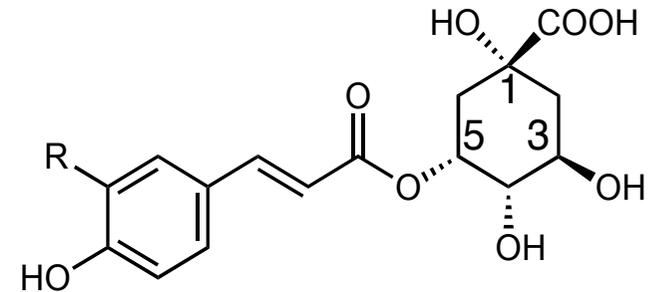
アジサイガク片の花色変異の機構

pH 3



$Al^{3+} : < 0.1 \text{ eq.}$

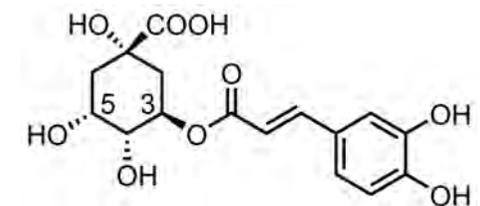
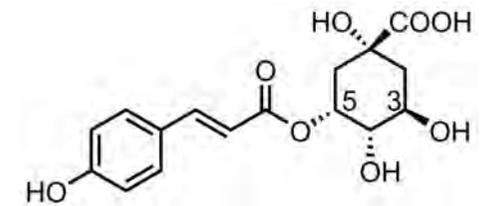
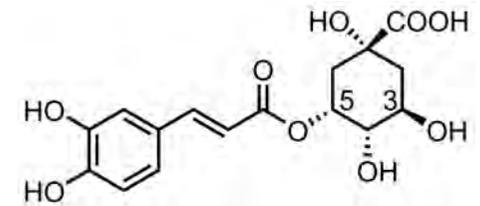
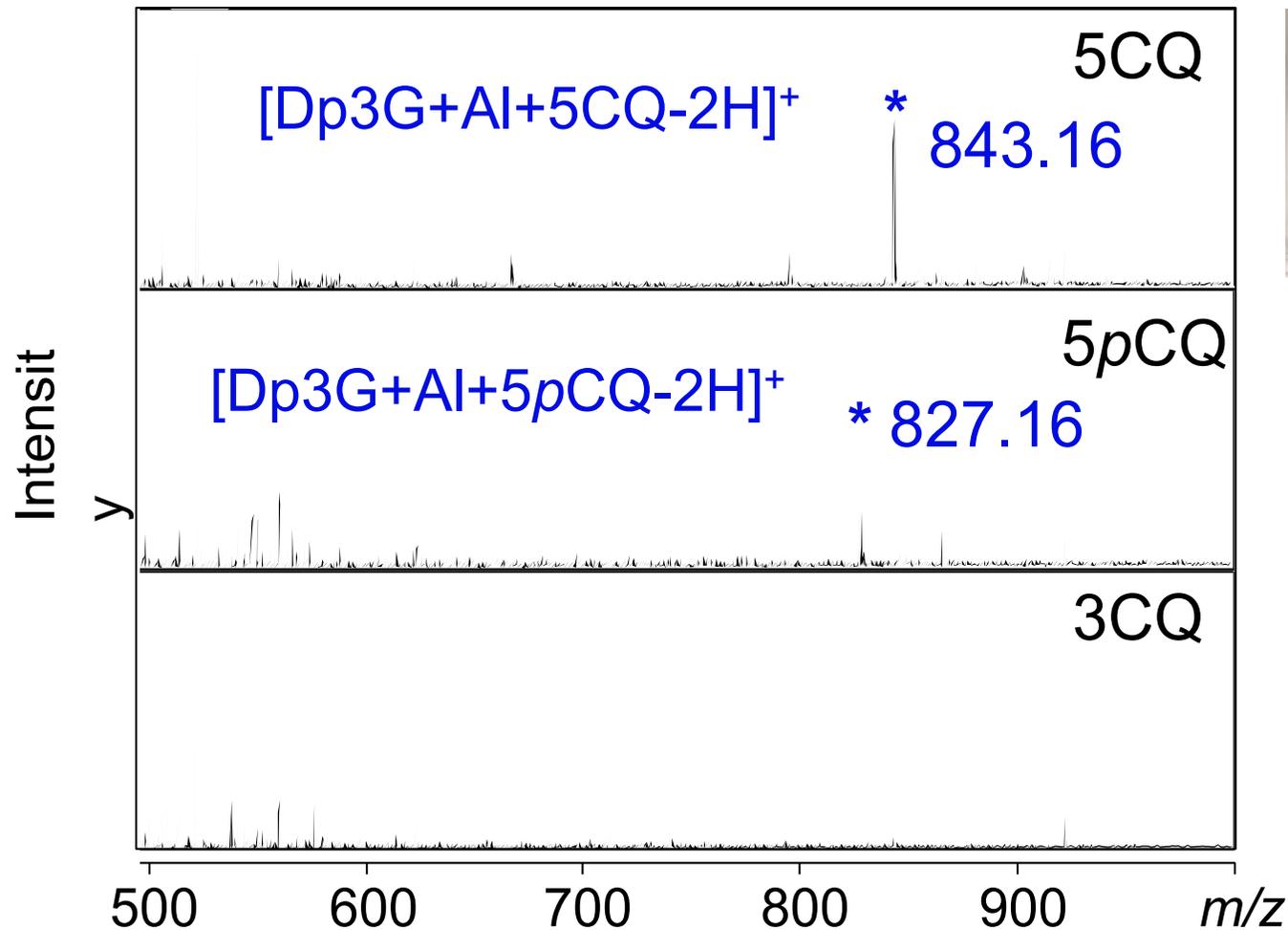
pH 4



$Al^{3+} : > 1 \text{ eq.}$

再構成では助色素は2当量必要だったが、、、

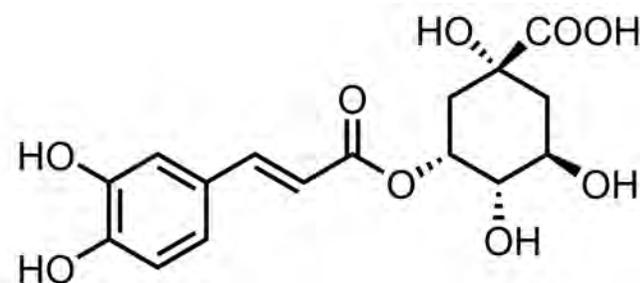
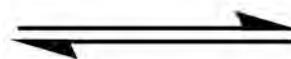
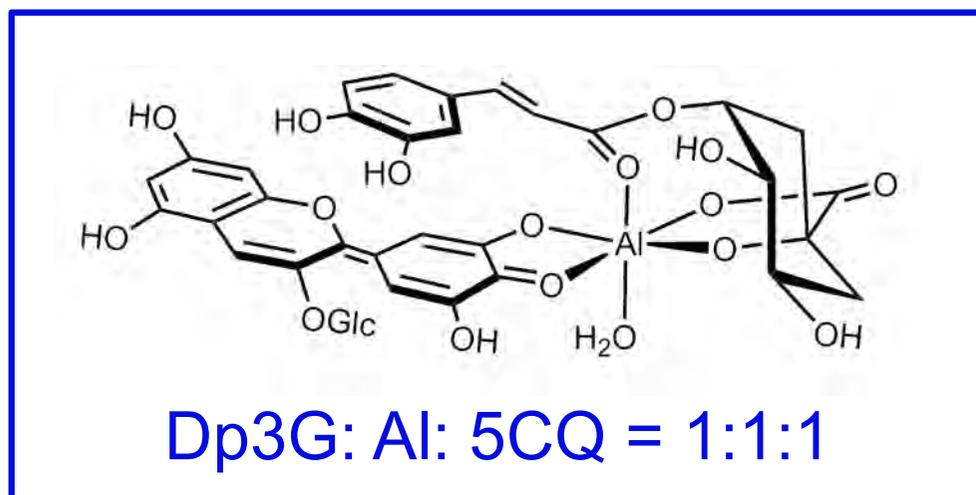
Positive mode Dp3G: 0.1 mM, co-pigment: 2 eq., AlCl₃: 1 eq.



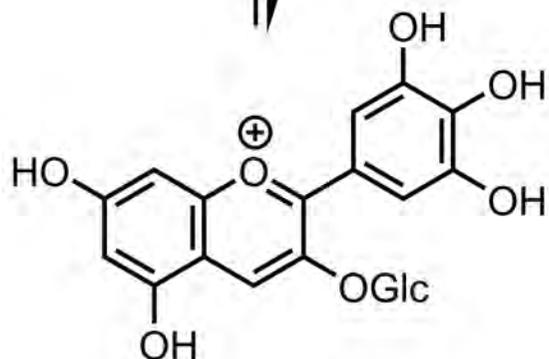
Buffer: 2 mM (pH 4)

アジサイ青色錯体の構造解明

pH 4: 青色錯体

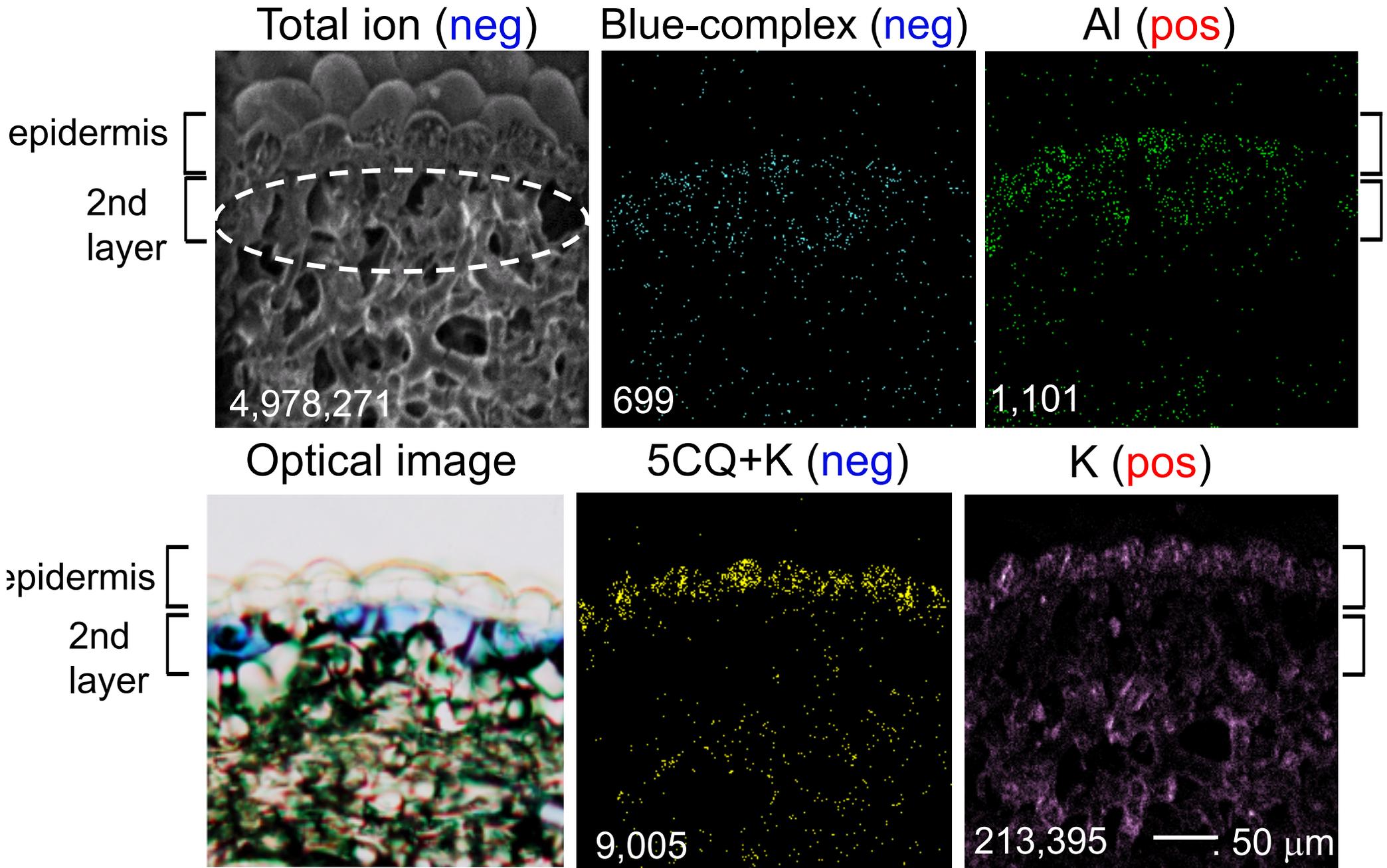


解離した助色素



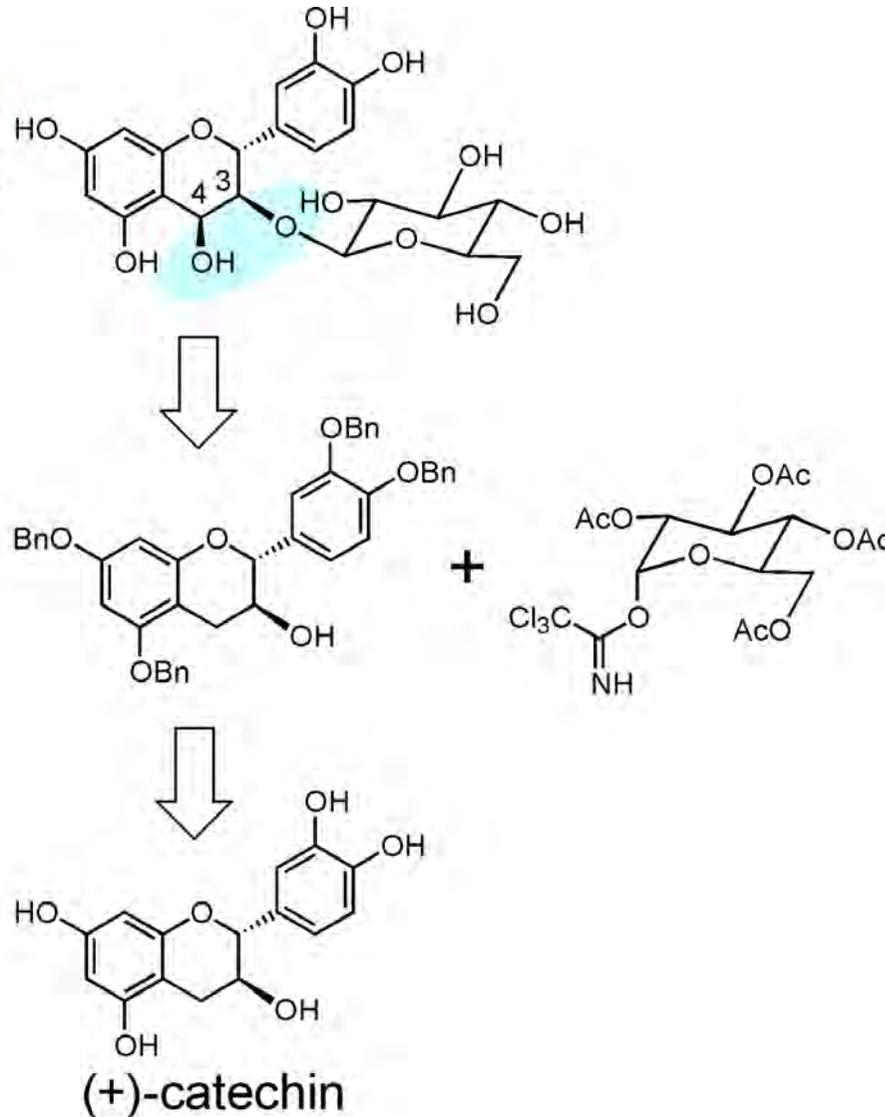
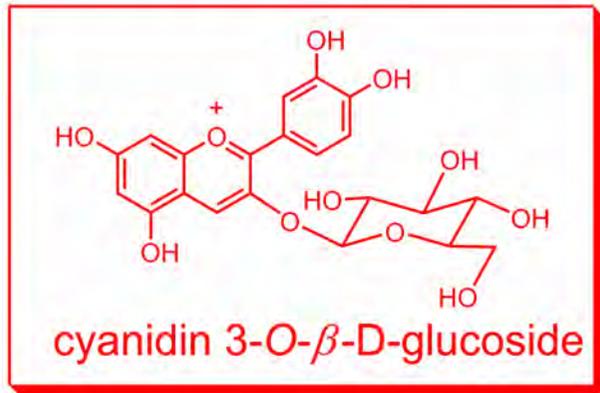
pH 3: 赤色フラビリウムイオン

青色ガク片組織のイメージング像



アントシアニンの化学合成を実現したい

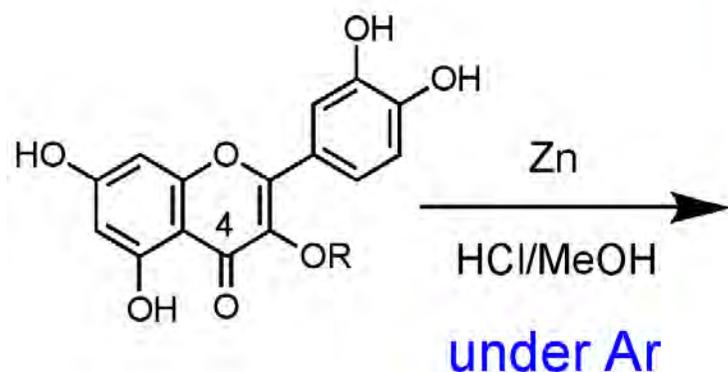
生合成経路を模した合成



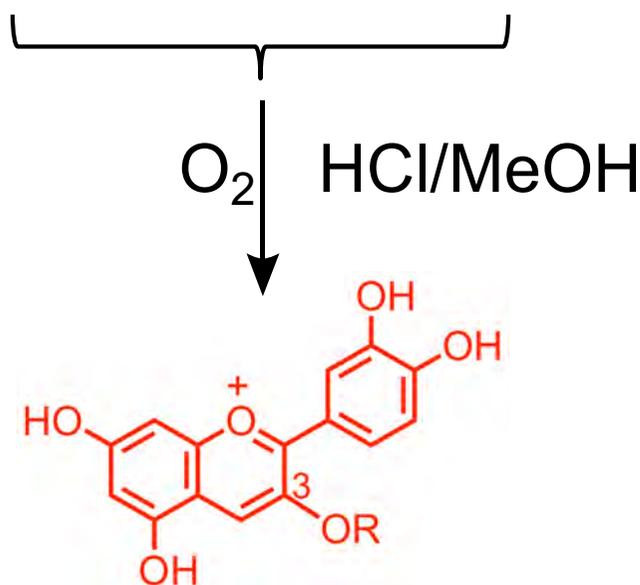
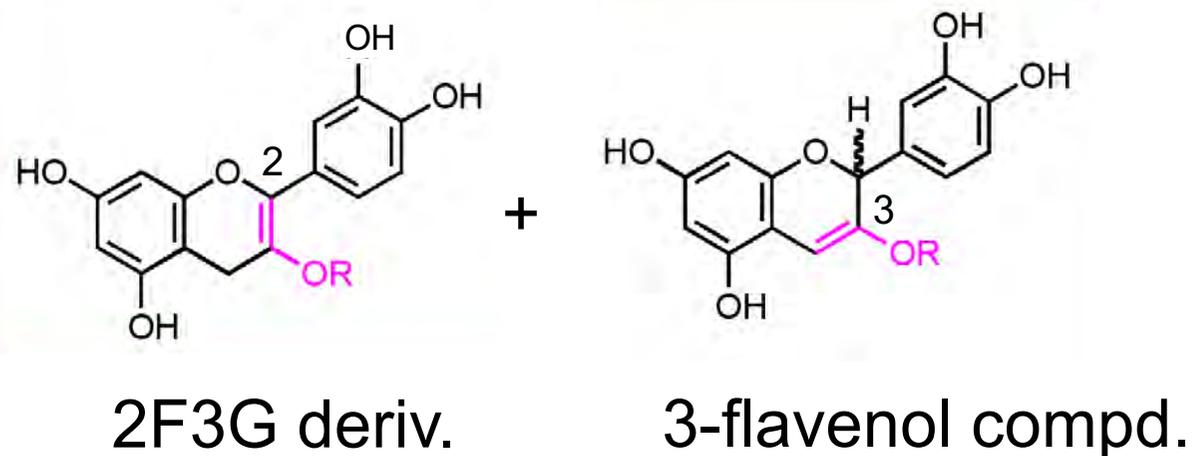
木村友紀博士
得能一成修士
中村早岐修士
加藤亮修士
舟橋杏奈修士
今井祥平修士
橋本眞侑修士
安藤宏基修士
柴康太修士
A. Benyamin博士

尾山公一博士

フラボノールの金属還元によるアントシアニンの合成



R = sugar
acylated sugar

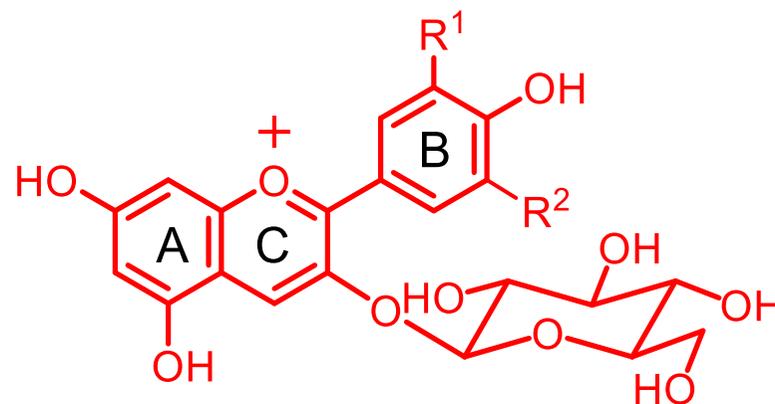


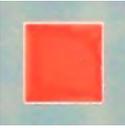
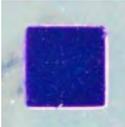
アントシアニンを用いたカラフルな色素増感太陽電池

木村友紀博士

Asmaa Benyamin博士

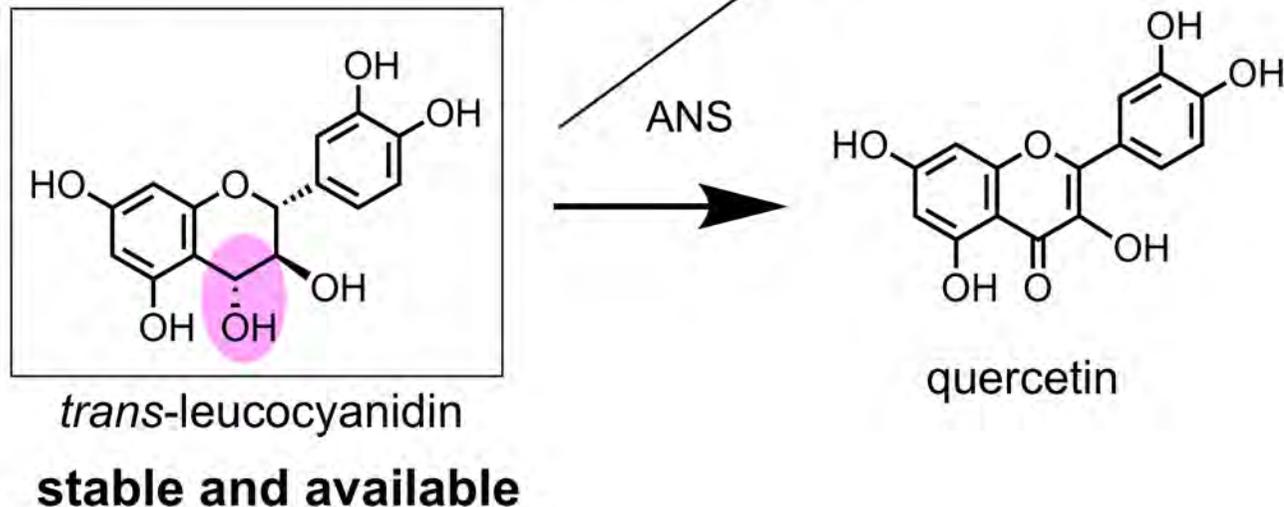
酒井勇輔修士



	R ¹	R ²	Cell
pelargonidin 3-glucoside (Pg3G)	H	H	
cyanidin 3-glucoside (Cy3G)	OH	H	
delphinidin 3-glucoside (Dp3G)	OH	OH	
petunidin 3-glucoside (Pt3G)	OMe	OH	
malvidin 3-glucoside (Mv3G)	OMe	OMe	

アントシアニンの生合成における疑問

化学合成でシスロイコ体はアントシアニンにならなかった
フラボノールの金属還元で中間体はフラベノールである



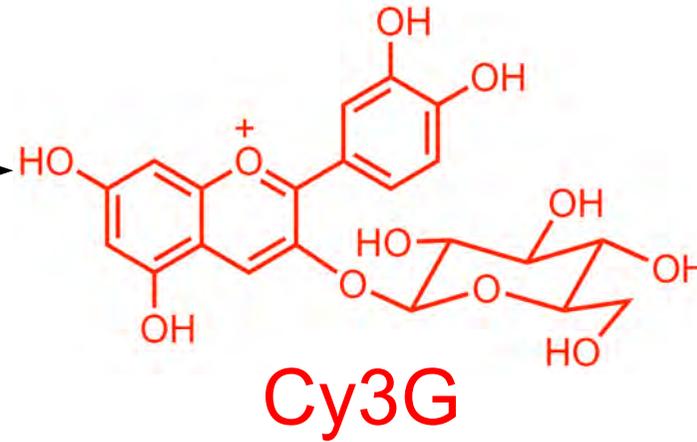
未熟黒ダイズの種皮色の変化

Y. Teppabut博士
林英美修士
中根悠輔修士
澤口玲央修士
仁瓶栞里修士



>2ヶ月

莢の中



< 1日

莢の外



G max cv. Iwaikuro

Scale bars: 1 cm

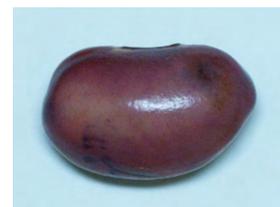
未熟黒ダイズ種皮に含まれる配糖化された生合成中間体



stage 1



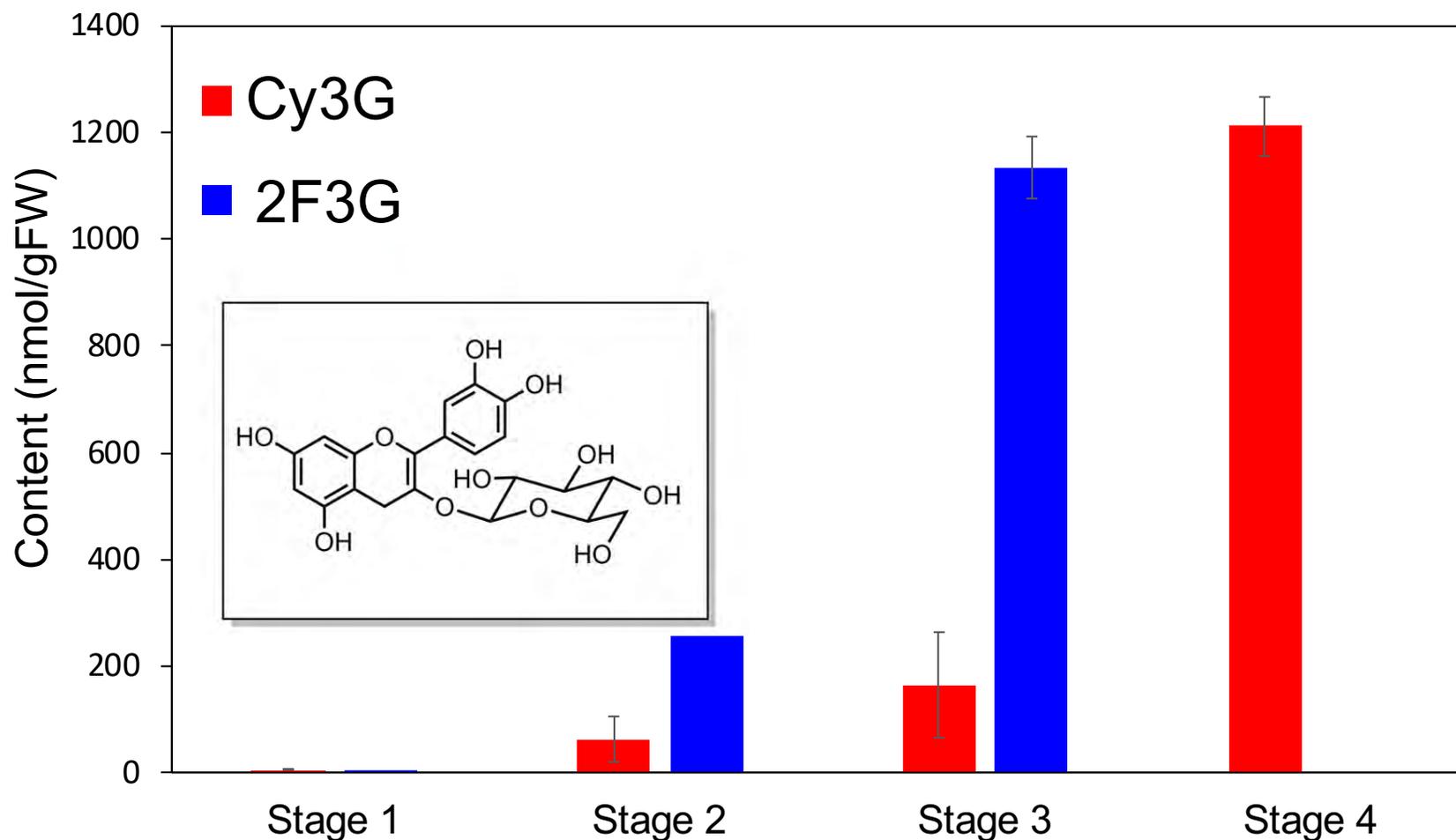
stage 2



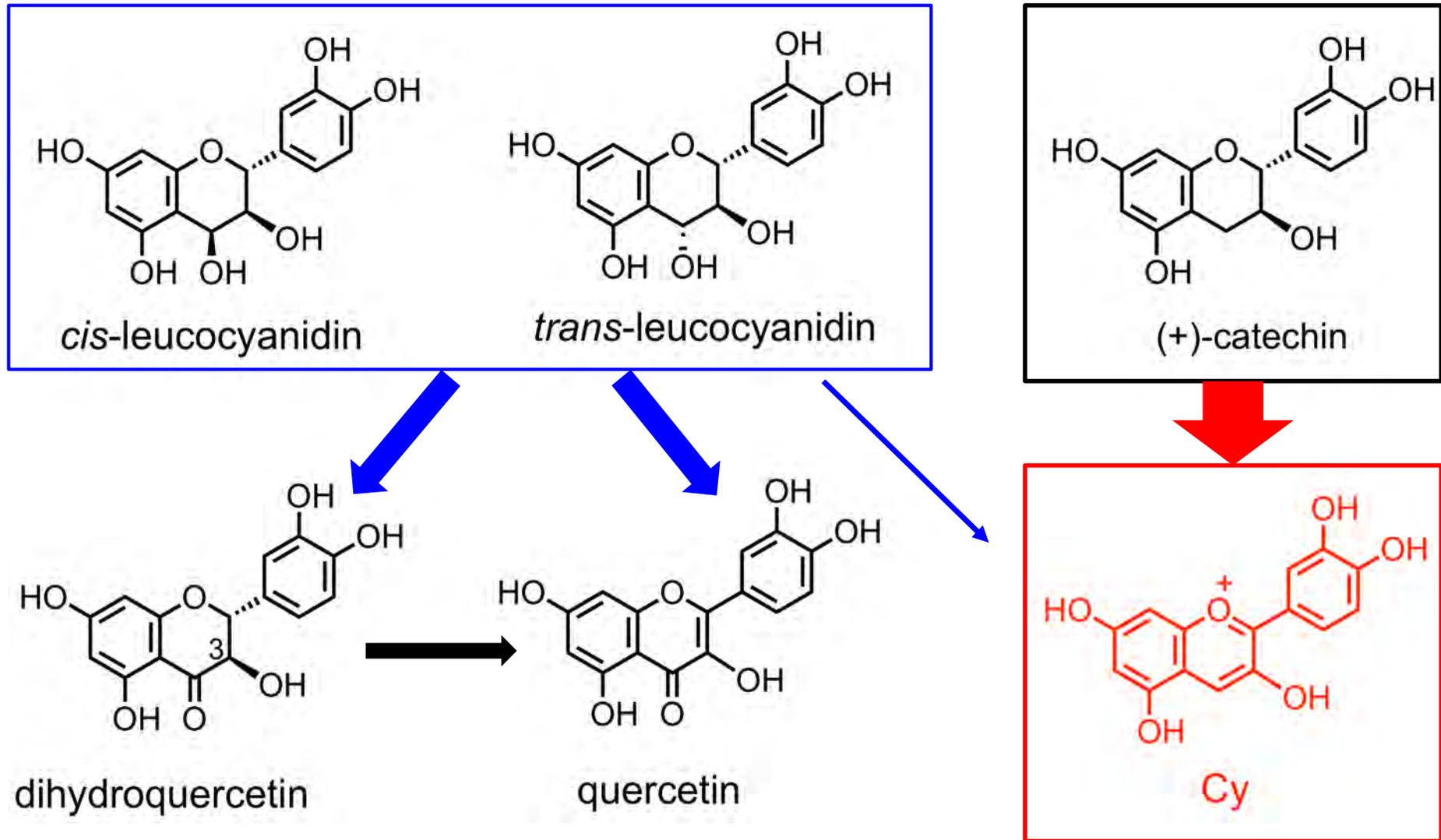
stage 3



stage 4



組換えANSタンパク質を用いた変換試験



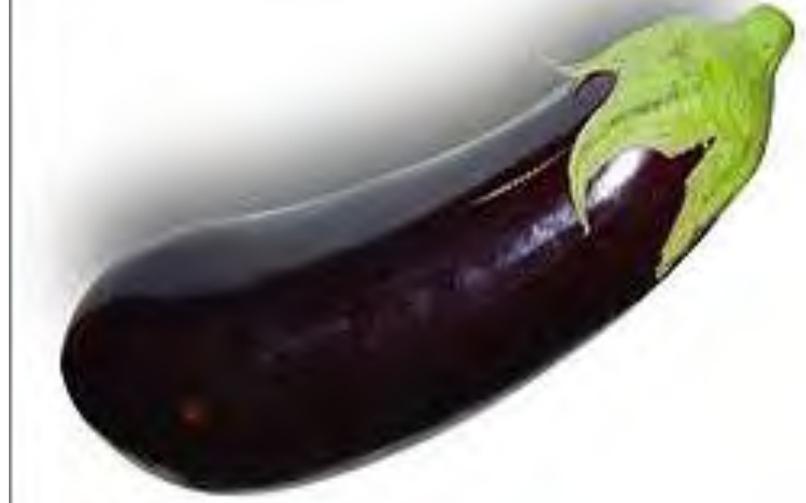
天然物化学研究のこれから

天然物化学は”blue ocean”か

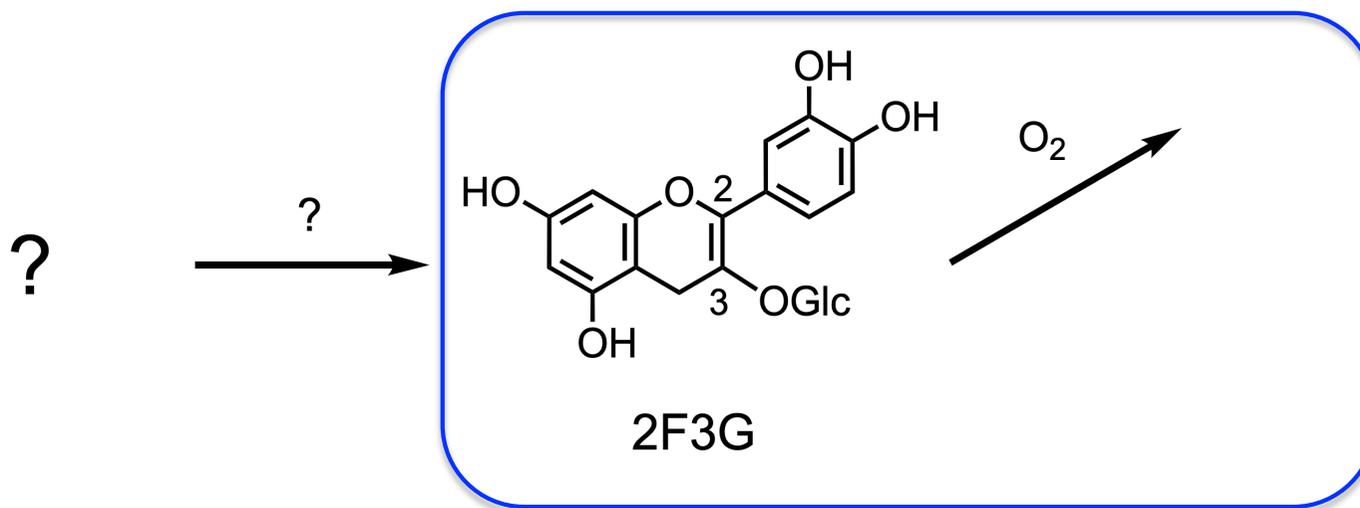
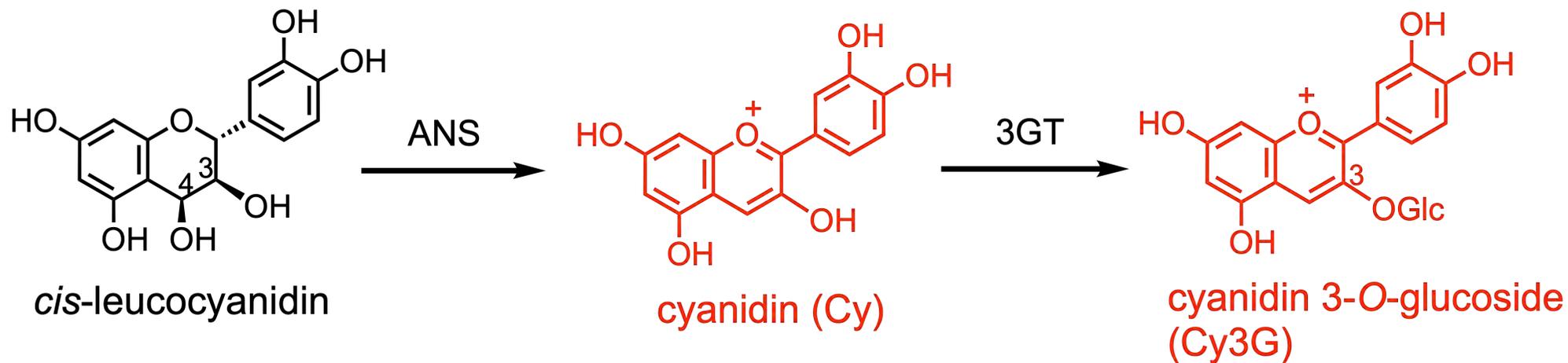
天然物化学は”blue ocean”である

- ✓ 研究課題は無限大
- ✓ 地球のみならず宇宙へ広がる
- ✓ 目の前に何故？がある
- ✓ モノを手にする強み
- ✓ どことでも手を組める

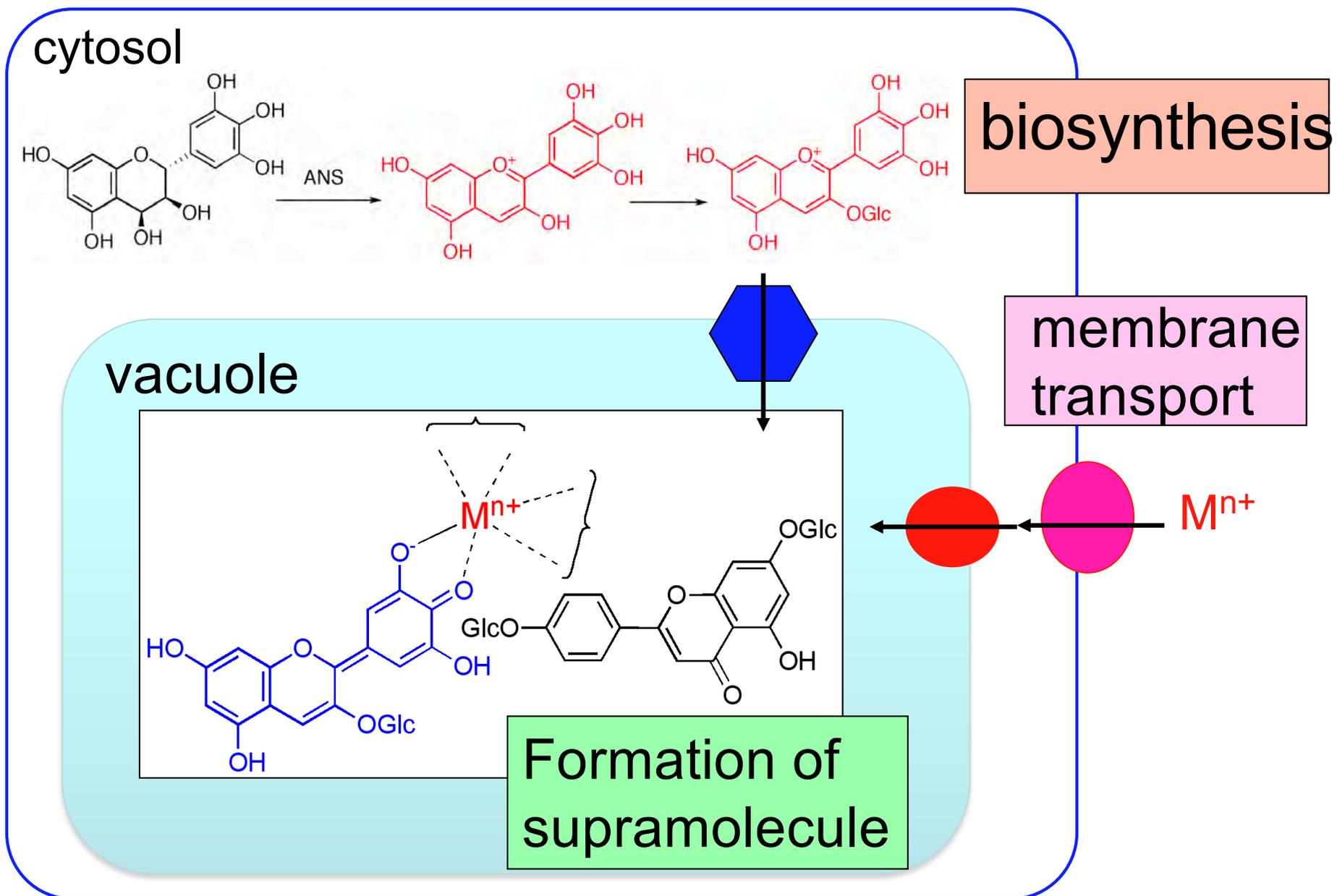
細胞内の環境の違いによる表現型の違い



アントシアニンの新規生合成経路の提案



機能性分子の細胞内マッピングと輸送機構の解明

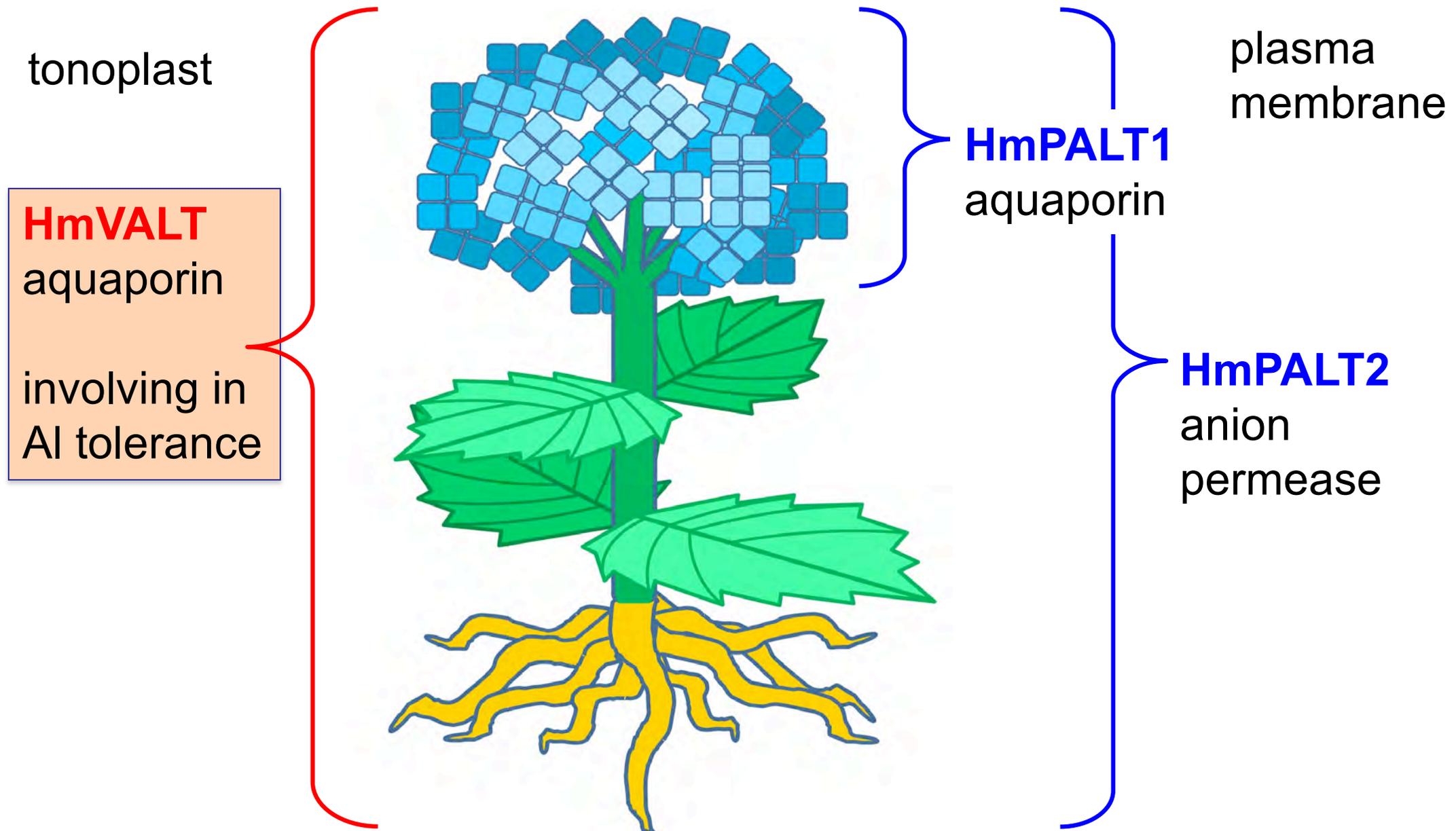


食糧問題の解決：酸性土壌耐性植物の育種

ca. 30% (400 million ha)



アジサイから取得したAl耐性遺伝子の活用



研究上のイベント

1979年（21） 名古屋大学農学部 生物有機化学研究室 4年生

1982年（24） 修士修了、天野製薬(株)入社

1988年（30） 椋山女学園大学家政学部・助手

1992年（34） 博士(農学)の学位取得

1994年（36） 留学 コンスタンツ大学訪問研究員(植物生理生化学)

1995年（37） 日本農芸化学奨励賞

「花色発現における分子会合機構の解明に関する研究」

1998年（40） ソルト・サイエンス研究財団財団賞

「梅干し漬けの色の安定化に及ぼす食塩の効果」

2009年（49） 第5回国際アントシアニンワークショップ開催

2014年（56） 第27回ポリフェノール国際会議開催

2015年（57） 日本政府観光局 国際会議誘致・開催貢献賞

2016年（58） Groupe Polyphenols Scientific Award

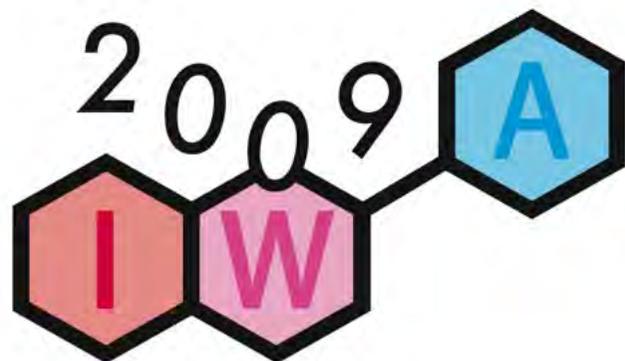
「花色素アントシアニンを中心とするポリフェノール研究」

2023年（65） 日本農芸化学会賞

「フラボノイド系植物色素の化学・生物学および応用研究」

5th International Workshop on Anthocyanins, 2009 in Japan

“Expanding World of Anthocyanins”

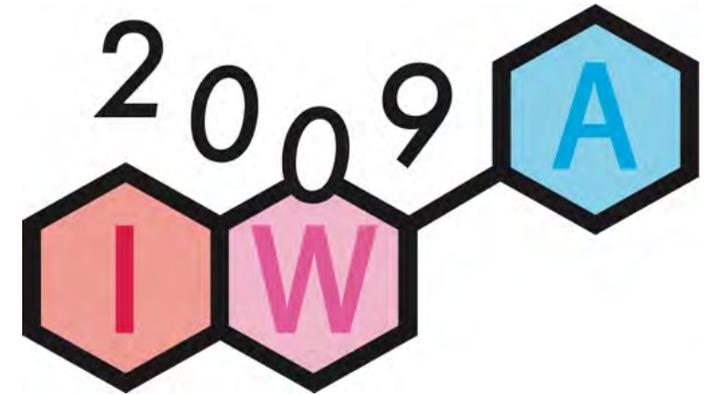


September 15-18, 2009

**Noyori Conference Hall,
Nagoya University,
Nagoya, JAPAN**

2002 Adelaide
2004 Sydney
2006 Rotorua
2009 Nagoya
2011 Charlotte
2013 Porto
2015 Montpellier
2017 Auckland
2019 Trento
2021 London

51 foreign, 111 inland



2010年 Groupe Polyphenols 理事会メンバーに



International Conference on Polyphenols



Groupe Polyphenols

171 foreigners (34 countries),
329 inland



ICP2014 Nagoya

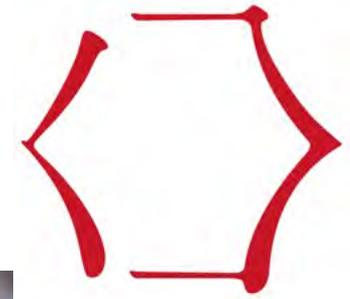
*XXVIIth International Conference on Polyphenols
2-6 September 2014*

*jointly hosted:
The 8th Tannin Conference*

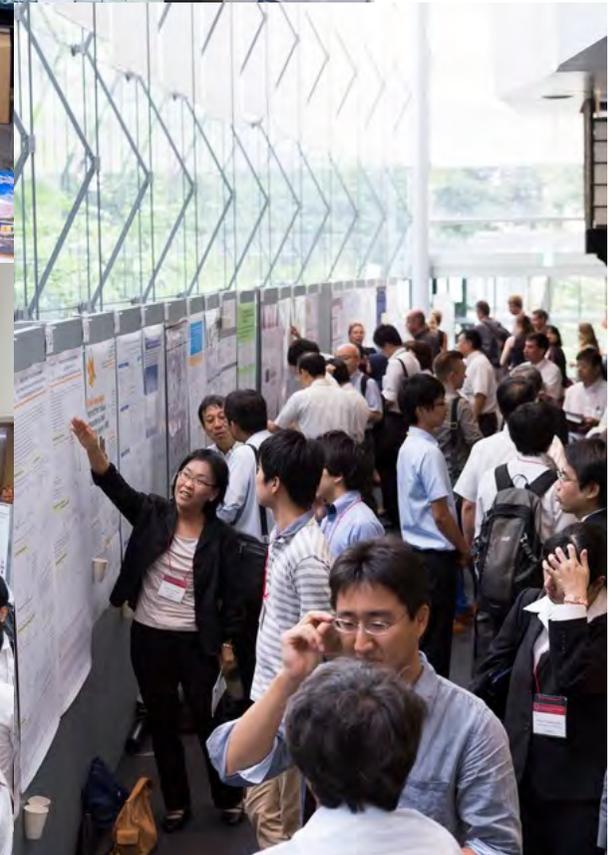


Presentations

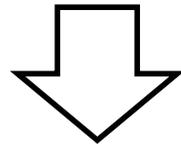
16 invited, 45 oral, 260 poster presentations



ICP2014
Nagoya



心から楽しんで実験する
骨惜しみせずに努力する



かけがえのない経験

研究は楽しい！！

研究は美味しい！



Natural Chem

名古屋大学発
ベンチャー



1970年から行われてきた

天然物化学・生物有機化学研究の成果を、
社会に還元します



アントシアニンを中心とした植物
ポリフェノール類の提供



生物発光・化学発光
関連物質の提供



天然物の単離・精製、
分析の受託



提供できる化合物

1. アントシアニン
2. フラボノイド
3. その他ポリフェノール類
4. 合成ルシフェリン
5. ウミホタル(凍結品)

受託分析

1. アントシアニン
2. フラボノイド
3. その他ポリフェノール類

受託精製

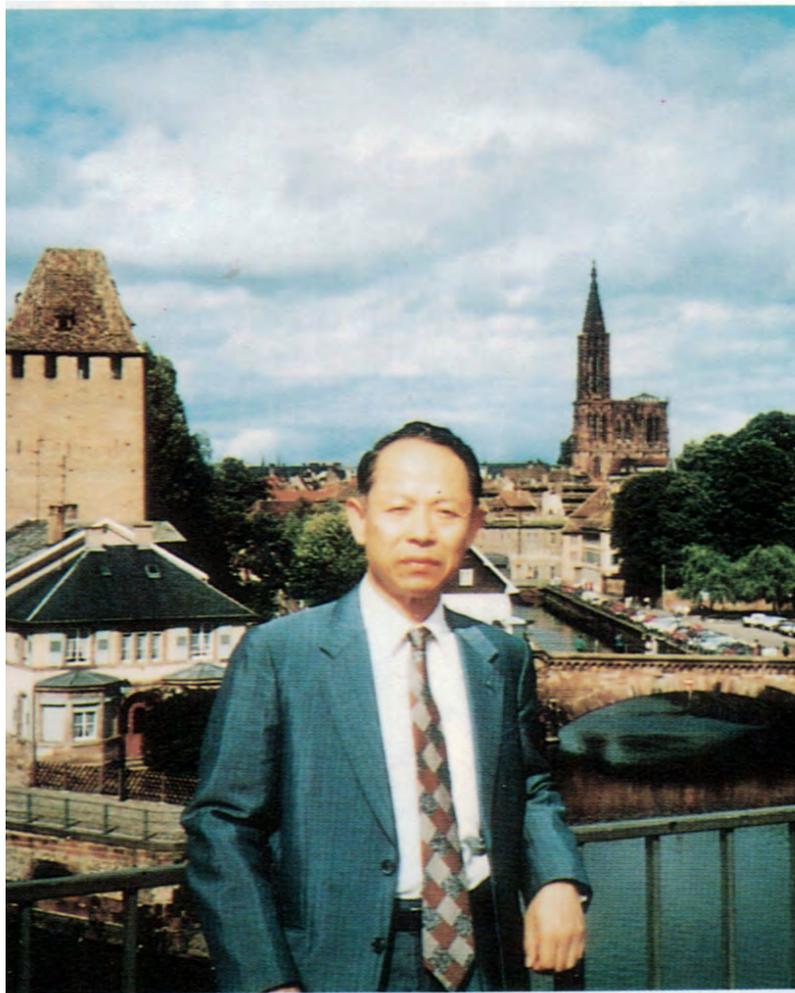
1. アントシアニン
2. フラボノイド
3. その他ポリフェノール類

受託合成

1. アントシアニン
2. フラボノイド
3. その他ポリフェノール類

謝辞

16th ICP at Strasbourg



後藤俊夫教授 (1929-1990)

27th ICP at Nagoya



近藤忠雄教授 (1941-)

謝辞

研究室に所属して下さった全ての方

大阪大学

中川敦史教授

慶応義塾大学

大場 茂教授

大阪医科大学

岡崎芳次博士

基礎生物学研究所

西村幹生教授
真野昌二博士

金沢大学

二階堂修教授
松永 司教授
石垣靖人博士

十勝農試

村田吉平科長
島田章典科長
佐藤 仁科長

とがち財団

川原美香課長

花き研究所

中山真義博士

富山県

荘司和明博士

京都大学

若宮淳志教授

椋山女学園大学

亀田 清教授

弘前大学

橋本 勝教授

名城大学

高谷芳明准教授

国立衛研

合田幸広所長
西崎雄三博士

東北大学

中山 亨教授
和氣駿之講師

Free Univ.

Prof. Pina

名古屋大学

後藤俊夫教授
中塚進一教授
近藤忠雄教授
野依良治教授
山田静之教授
磯部 稔教授
前島正義教授
福島和彦教授
青木 弾講師
藤吉好則教授
大嶋篤典教授
古賀伸明教授
井内 哲博士
尾山公一博士

Many thanks for blue flowers in nature!!

