

# 山梨県若手研究者奨励事業 研究成果報告書

所属機関名 山梨大学 生命環境学部 生命工学科

職名・氏名 助教・武 晃

## 1 研究テーマ

希少放線菌から未知なる抗生物質を生産させる革新的培養方法の構築

## 2 研究の目的

大村智博士らによるイベルメクチンの発見は世界中の人々を救っており、そのイベルメクチンの生産菌である放線菌は今なお抗生物質の探索源として重要である。なかでも *Streptomyces* 属放線菌は、多くの抗生物質を生産することが知られている。長い放線菌研究の中で抗生物質生産の「質」と「量」に関する研究は精力的に行われており、近年、抗生物質の生産する遺伝子の多くは休眠状態にある事がわかってきた。また、非常に入手が困難な希少放線菌は未発見な抗生物質の宝庫と言われている。しかしながら、希少放線菌の抗生物質生産の「質」と「量」に関する研究は多数の複合要因が影響しており未解明な状態にあるため、その宝庫は手付かずの状態となっている。

そこで、本研究では希少放線菌から新規抗生物質を発見するための革新的な培養方法を確立することを目的に、希少放線菌の培養に関するマルチオミクス解析を行い、未知なる抗生物質を生産させる革新的培養方法の構築を行った。

## 3 研究の方法

### (1)希少放線菌 *Actinoplanes* 属における生産基礎培地の選択

*Actinoplanes* 属放線菌の基準株 (Table 1) をそれぞれ ISP 2 寒天培地 (1.0% malt extract, 0.4% yeast extract, 0.4% glucose, 2.0% agar, pH 7.3) にて 30°C、1~2 週間培養した。各培養菌株を白金耳にてかき取り、滅菌ガラスビーズにて粉碎後、当研究室で *Streptomyces* 属の二次代謝産物の生産培地として用いられている 5 種類の培地、Ben 培地 (1.0% maltose, 0.1% yeast extract, 1.0% beef extract, 0.2% N-Z amine, pH 7.3)、Q 培地 (2.0% glycerol, 1.0% molasses, 0.5% casein, 0.1% hipolypepton, 0.1% CaCO<sub>3</sub>, pH 7.0)、MMB 培地 (1.0% glucose, 1.0% soybean meal, 0.5% soluble starch, 0.5% yeast extract, 0.3% hipolypepton, 0.2% NaCl, 0.3% CaCO<sub>3</sub>, pH 7.0)、66 培地 (1.0% glucose, 2.0% maltose, 0.3% gelatin, 0.3% yeast extract, 10<sup>-4</sup>% FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 10<sup>-4</sup>% MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, 10<sup>-4</sup>% ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 10<sup>-4</sup>% CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 10<sup>-4</sup>% CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, pH 無調整)、30 培地 (0.1% glucose, 2.4% starch, 0.3% peptone, 0.3% meat extract, 0.5% yeast extract, 0.4% CaCO<sub>3</sub>, 10<sup>-4</sup>% FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 10<sup>-4</sup>% MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, 10<sup>-4</sup>% ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 10<sup>-4</sup>% CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 10<sup>-4</sup>% CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, pH 7.0) 各 5 mL に植菌し、30°C、2 週間振盪培養した。各培養液に等量の EtOH を加えて 30 分間振盪して抽出を行い、抽出液をペーパーディスクに浸漬、風乾することで、活性試験ディスクを作成した。これを用いて抗菌活性試験を行った。検定菌には、*Bacillus subtilis*

NBRC 3134, *Escherichia coli* NBRC 3301, *Aspergillus oryzae* NBRC 100959, *Candida krusei* NBRC 1395 の 4 菌株を用いた。検定菌を MH 培地 (0.2% beef extract, 1.75% casamino acids, 0.15% soluble starch, pH 7.3) または YEPD (2.0% glucose, 1.0% peptone, 0.5% yeast extract, 0.5% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.2% MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, pH 5.4) 培地に植菌、30°C、16 時間培養後、寒天培地に混釈して検定プレートを作成した。検定プレートに活性試験ディスクを静置し、30°C、1~2 日培養し、阻止円を形成したディスクを活性有り代謝産物として阻止円の直径を測定した。

Table 1 各種培地検討に使用する供試菌株

属	種	株名
<i>Actinoplanes</i>	<i>auranticolor</i>	NBRC 12245
<i>Actinoplanes</i>	<i>couchii</i>	DSM 45050 <sup>T</sup>
<i>Actinoplanes</i>	<i>digitatis</i>	DSM 43149 <sup>T</sup>
<i>Actinoplanes</i>	<i>italicus</i>	NBRC 13911 <sup>T</sup>
<i>Actinoplanes</i>	<i>lobatus</i>	DSM 43150 <sup>T</sup>
<i>Actinoplanes</i>	<i>missouriensis</i>	NBRC102363 <sup>T</sup>
<i>Actinoplanes</i>	<i>nipponensis</i>	NBRC 14063 <sup>T</sup>
<i>Actinoplanes</i>	<i>palleronii</i>	NBRC 14916 <sup>T</sup>
<i>Actinoplanes</i>	<i>teichomyceticus</i>	NBRC 13999 <sup>T</sup>
<i>Actinoplanes</i>	<i>xinjiangensis</i>	NBRC 106528 <sup>T</sup>

## (2)生産基礎培地の改良

(1)にて活性が多く検出された培地について、1 つずつ成分を抜くことで、真に必要な培地成分を選定し、その培地成分を類似成分に置換した改良培地を作成した。Table 1 の基準株のうち活性が見られた菌株について生産培養を行い、抗菌活性(1)と同様の抗菌活性試験を行い、生産培地の改良を行った。

## (3)改良生産培地の有用性の検証

当研究室にて分離された新規性の高い *Actinoplanes* 属菌株を ISP 2 寒天培地にて培養し、(2)にて改良した培地に植菌、30°C、1~2 週間培養後、(1)と同様の方法で抗菌活性試験を行った。またその培養抽出液を、逆相カラムを用いた高速液体クロマトグラフィー (HPLC) にて分析を行った。

## (4)改良培地の RNA-seq

生育させるための一般培地、(1)の基礎生産培地および(2)にて改良した生産培地で活性を有する *Actinoplanes* 基準株を培養し、菌体を回収後、常法にて RNA を抽出し、RNA-seq 解析を行った。RNA 抽出および RNA-seq 解析については分析機関に委託した。RNA-seq のデータを培地ごとに比較することで、生産培地における遺伝子発現の差を確認した。

#### 4 研究の成果

##### (1) 希少放線菌 *Actinoplanes* 属における生産基礎培地の選択

生産培地における放線菌の生育の結果を Table 2 に示した。本結果から、培養された培地の種類に関わらず生育量が多い菌株と少ない菌株が分かれていることが分かる。一方で培地の種類に着目すると、Q 培地や MMB 培地が特に生育がよく、逆に 66 培地は生育が悪いことが判明した。

また、抗菌活性試験の結果 (Fig. 1, Table 3) より、抗菌活性が確認できたのは *A. nipponensis* NBRC 14063<sup>T</sup>、*A. xinjiangensis* NBRC 106528<sup>T</sup>、*A. teichomyceticus* NBRC 13999<sup>T</sup> の 3 株であった。培地に着目すると 66 培地以外の培地には活性が出ているが、特に活性が多く出たのが Q 培地であった。Q 培地は他の活性が出た培地と比較しても、その阻止円の大きさは大きい。Q 培地の組成の中で特徴的な物質は molasses だと考えられる。Molasses は廃棄サトウキビ由来の物質であり、天然物のため炭素源だけでなく、窒素源やビタミン、微量ミネラルも含まれている。また、Q 培地には molasses のほかに glycerol も含まれており、培地の粘性がかなり高い。培地の粘性が上がると、攪拌はされにくくなるが、菌同士が移動しにくくなるため、コロニー形成が起きやすい。これにより、代謝産物や成長因子が菌の周囲に溜まり、局所的に栄養や物質が濃縮された環境が生まれる。そういった場所を足場にする事で、さらに菌が増殖することができる。さらに、*Actinoplanes* 属は孢子囊から遊走子を放出する運動性放線菌である点も、本結果を解釈する上で興味深い。

Table 2 培養 2 週間後における各菌株の生育状況

菌株名	BEN	Q	MMB	66	30
<i>A. auranticolor</i> NBRC 12245	+	+	++	+	+
<i>A. couchii</i> DSM 45050 <sup>T</sup>	+	+	++	+	+
<i>A. digitatis</i> DSM 43149 <sup>T</sup>	±	±	±	-	±
<i>A. italicus</i> NBRC 13911 <sup>T</sup>	+	+	+	±	+
<i>A. lobatus</i> DSM 43150 <sup>T</sup>	+	+	+	+	+
<i>A. missouriensis</i> NBRC 102363 <sup>T</sup>	++	++	++	+	++
<i>A. nipponensis</i> NBRC 14063 <sup>T</sup>	+	++	++	+	+
<i>A. palleronii</i> NBRC 14916 <sup>T</sup>	+	++	++	±	+
<i>A. teichomyceticus</i> NBRC 13999 <sup>T</sup>	++	++	++	+	+
<i>A. xinjiangensis</i> NBRC 106528 <sup>T</sup>	++	++	++	+	+

++ : marked growth    + : growth    ± : no growth    - : decreased

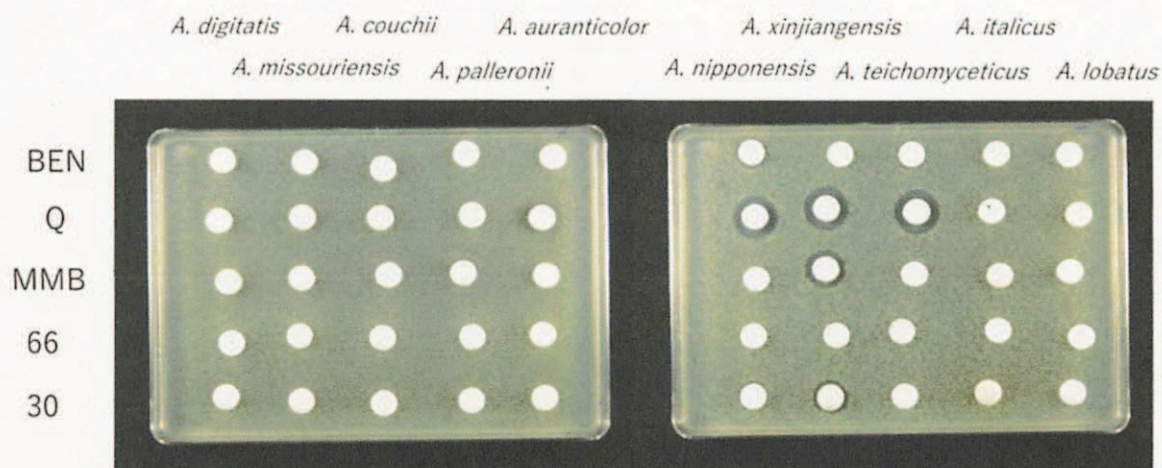


Fig. 1 10種の *Actinoplanes* 属の培養上清の *Bacillus subtilis* に対する抗菌活性

Table 3 10種の *Actinoplanes* 属の培養上清の *Bacillus subtilis* に対する培地ごとの阻止円の直径(mm)

菌株名	培地名				
	BEN	Q	MMB	66	30
<i>A. auranticolor</i> NBRC 12245	—	—	—	—	—
<i>A. couchii</i> DSM 45050 <sup>T</sup>	—	—	—	—	—
<i>A. digitatis</i> DSM 43149 <sup>T</sup>	—	—	—	—	—
<i>A. italicus</i> NBRC 13911 <sup>T</sup>	—	—	—	—	—
<i>A. lobatus</i> DSM 43150 <sup>T</sup>	—	—	—	—	—
<i>A. missouriensis</i> NBRC 102363 <sup>T</sup>	—	—	—	—	—
<i>A. nipponensis</i> NBRC 14063 <sup>T</sup>	8.5	10.3	—	—	—
<i>A. palleronii</i> NBRC 14916 <sup>T</sup>	—	—	—	—	—
<i>A. teichomyceticus</i> NBRC 13999 <sup>T</sup>	8.4	10.7	—	—	—
<i>A. xinjiangensis</i> NBRC 106528 <sup>T</sup>	—	12.7	9.4	—	8.3

## (2)生産基礎培地の改良

(1)にてQ培地が最も生産性が高かったため、本培地を基礎培地として改良を行うこととした。そこで、glycerol, molasses, casein, hipolypepton, CaCO<sub>3</sub> をそれぞれ抜いた培地にて生産培養を行い (Table 4)、抗菌活性試験にて真に必要な培地成分を選定した (Fig. 2, Table 5)。Table 4の結果によると、glycerol, molasses, casein といった主要な炭素源・窒素源がない培地は生育が弱かった。しかし、接種時と比較して生育していたため、二次代謝産物を作っている可能性はあると思われる。また Table 5 から、活性があったのは Q 培地と Q-Hipolypepton 培地の2つであることが分かる。この結果から、hipolypepton は抗菌物質の生産に関与しないことが分かった。一方で他の物質は抗菌物質の生産における必須な炭素源および窒素源だったことが判明した。CaCO<sub>3</sub>が必要だったことから、pHが急激に変わると物質生産はできなくなることが分かった。pHが急激に変わる理由としては微生物が代謝の際に有機酸を出しており、それにより培地中の pH が酸性に寄ったのではないかと考えられる。*A. xinjiangensis* に抗菌活性が見られなかった理由としては、何らかの影響で本実験でもちいた *A. xinjiangensis* が変異してしまった可能性や、物質生産はしているが抗菌活性としては出なかった可能性などが考えられる。

Table 4 培養2週間後における各菌株の生育状況

菌株名	培地名					
	Q	Q-Glycerol	Q-CaCO <sub>3</sub>	Q-Molasses	Q-Casein	Q-Hipolypepton
<i>A. nipponensis</i>	++	+	+	+	+	++
<i>A. xinjiangensis</i>	++	+	+	+	+	++
<i>A. teichomyceticus</i>	++	+	+	+	+	++
<i>A. missouriensis</i>	++	++	++	+	+	++

++ : marked growth + : growth ± : no growth - : decreased

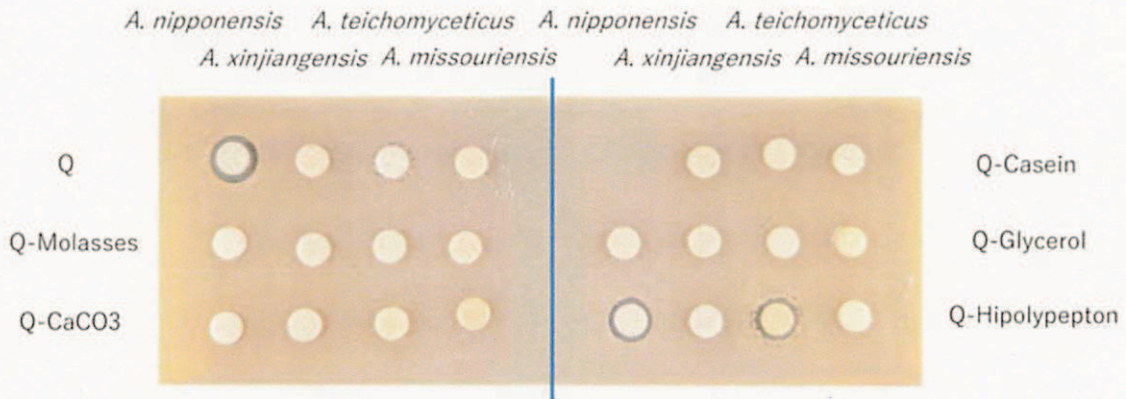


Fig. 2 基礎培地を改変した培地における *Actinoplanes* 属抽出液の *B. subtilis* に対する抗菌活性

Table 5 基礎培地を改変した培地における *Actinoplanes* 属培養抽出液の *B. subtilis* に対する阻止円の直径(mm)

菌株名	培地名					
	Q	Q-Glycerol	Q-CaCO <sub>3</sub>	Q-Molasses	Q-Casein	Q-Hipolypepton
<i>A. nipponensis</i>	11.6	-	-	-	-	11.1
<i>A. xinjiangensis</i>	-	-	-	-	-	-
<i>A. teichomyceticus</i>	10.6	-	-	-	-	11.8
<i>A. missouriensis</i>	-	-	-	-	-	-

(ペーパーディスクの直径は 8.0 mm)

次に、Q 培地の hipolypepton を抜いた状態で、炭素源である molasses を 1/10, 1/100 量にしたもの、sucrose や dextrin, malt extract に置換した培地を作成した。また一方で、casein を casamino acids や tryptone に置換した培地も作成し、それぞれ生産培養 (Table 6) および抗菌活性試験 (Fig. 3, Table 7) を行った。

Table 6-1 および Table 6-2 の結果から、Q 培地のコントロールと比較して、Molasses 1/100、Sucrose は生育が悪く、Malt extract、Casamino acids、Tryptone は生育が良かった。このことから、casein があると、casein が試験管壁面に付着し、その上に菌体に乗ってしまうことで、菌体全体の生育量に悪影響を与えていたことが分かった。一方で *A. nipponensis* は普通のコ

ントロール培地よりも molasses 量を 1/10 にした培地のほうが、生育が良かった。逆に、*A. xinjiangensis* は molasses 量を下げると生育が悪くなった。このように同じ *Actinoplanes* 属でも菌株によって必要な炭素源量は異なることが分かる。

Table 6-1 培養 2 週間後における各菌株の生育状況 (1/2)

菌株名	培地名			
	Control	Molasses1/10	Molasses1/100	Sucrose
<i>A. nipponensis</i>	+	++	+	±
<i>A. xinjiangensis</i>	++	+	-	±
<i>A. teichomyceticus</i>	+	+	+	±
<i>A. missouriensis</i>	++	++	+	+

Table 6-2 培養 2 週間後における各菌株の生育状況 (2/2)

菌株名	培地名			
	Dextrin	Malt extract	Casamino acids	Tryptone
<i>A. nipponensis</i>	++	±	++	++
<i>A. xinjiangensis</i>	+	++	++	++
<i>A. teichomyceticus</i>	±	++	++	++
<i>A. missouriensis</i>	+	++	++	++

++ : marked growth + : growth ± : no growth - : decreased

Table 7-1 および Table 7-2 の結果から、*B. subtilis* に対して活性が出たのはコントロール培地、Molasses1/10 培地、Malt extract 培地、Casamino acids 培地、Tryptone 培地であった。特に、Molasses1/10 培地と Tryptone 培地が効果的であることが分かる。結果として、現在の Q 培地では molasses 量が多すぎていることが分かった。これは molasses に含まれる栄養素が少ない状況の方が、栄養が適度に枯渇し、物質生産をする遺伝子の発現が促されたと考えられる。しかし、molasses 量が少なすぎると、栄養不足や培地の粘性不足で菌株自体が生育しない可能性がある。そのため molasses 量の最適化がある程度必要なことが分かった。一方で tryptone は casein よりも活性があったのは、tryptone の方が分解しやすく、窒素源として利用しやすかったからだと考えられる。また tryptone は casein と違って水に溶けるので、より多くの菌株に窒素源が供給されたと考えられる。つまり、こういった物質が抗菌物質生産に必要なことが分かった。

以上までの結果および考察を基に新しい改良 Q 培地 (2.0% glycerol, 0.1% molasses, 0.5% tryptone, 0.1% CaCO<sub>3</sub>, pH 7.0) を設計した。

*A. nipponensis* *A. xinjiangensis* *A. teichomyceticus* *A. missouriensis*

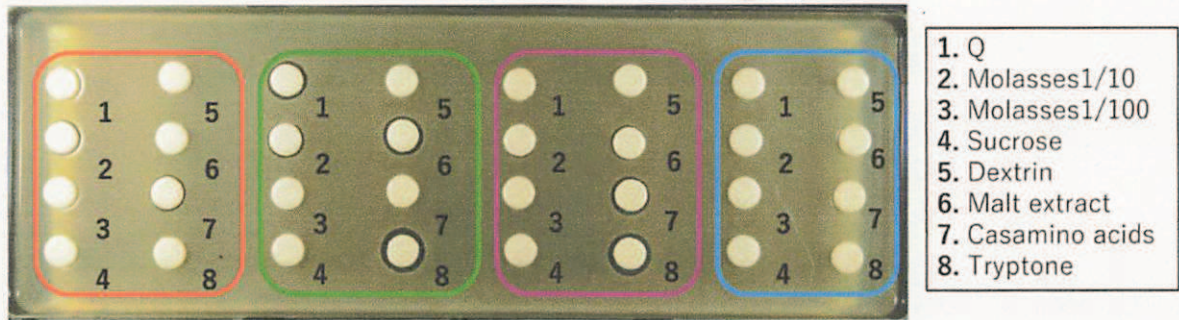


Fig 3 8種の培地で2週間培養した *Actinoplanes* 属培養上清の *Bacillus subtilis* に対する抗菌活性

Table 7-1 8種の培地で2週間培養した *Actinoplanes* 属抽出液の *Bacillus subtilis* に対する阻止円の直径(mm) (1/2)

菌株名	培地名			
	Control	Molasses1/10	Molasses1/100	Sucrose
<i>A. nipponensis</i>	8.3	8.7	-	-
<i>A. xinjiangensis</i>	10.4	9.6	-	-
<i>A. teichomyceticus</i>	-	8.5	-	-
<i>A. missouriensis</i>	-	-	-	-

Table 7-2 8種の培地で2週間培養した *Actinoplanes* 属抽出液の *Bacillus subtilis* に対する阻止円の直径(mm) (2/2)

菌株名	培地名			
	Dextrin	Malt extract	Casamino acids	Tryptone
<i>A. nipponensis</i>	-	-	10.5	8.3
<i>A. xinjiangensis</i>	-	9.8	-	11.8
<i>A. teichomyceticus</i>	-	8.8	11.6	12.2
<i>A. missouriensis</i>	-	-	-	-

### (3)改良生産培地の有用性の検証

*Actinoplanes* 属に分類された新規性の高い当研究室分離株を用いて生産培養を行った結果を Table 8 に示した。その結果から、ISP 2、Q 培地は菌の生育が良く、改良 Q 培地は生育が前者よりも少し劣ることが分かる。ISP 2 には yeast extract や malt extract が、Q 培地には molasses が一定量以上入っている。これらの物質には単純な炭素源だけでなく、窒素源やビタミン、微量ミネラルを含んでいる。今回の実験で用いた菌株は、新種と推定されるまだ発見されてから新しい *Actinoplanes* 属の分離株である。これまでの実験で用いてきた基準株よりも希少な放線菌であるといえる。希少な放線菌は他の菌との競争に弱く、限られた栄養素しか代謝しない菌も多い。様々な種類の栄養素がはいった培地の方が単純な生育量という面ではいいのかもしれない。しかし、抗菌活性試験の結果では阻止円の形成が認められなかった。そこで、二次代謝産物の生産性を検証するために HPLC による定量的な分析を行った (Fig. 4-7)。その結果、改良 Q 培地において特に顕著なピーク増加が確認さ

れたのは IN8 株であった。また KHN0103 株および KHN0219 株においても、Q 培地では確認されなかったピークが出現する傾向が認められた。これらの結果で見られたピークは必ずしも抗生物質であるとは言えないが、改良 Q 培地で培養したことにより、菌株の発現遺伝子に変化した結果であることが分かる。つまり、抗菌活性試験には活性が出なかったが、本実験で扱ったサンプルの 3/13 において、改良 Q 培地で培養したことによる物質生産の誘導が成功したといえるだろう。

Table 8 培養 2 週間後における当研究室分離株の生育状況

菌株名	ISP2	Q	改良 Q
KHN0306	±	±	±
KHN0311	±	+	±
KHN0103	+	+	+
KHN01-05	++	+	++
KHN0106	+	+	+
KHN0203	+	++	++
KHN0209	±	±	±
KHN0219	+	+	+
KHN0223	+	+	+
KHS0101	++	+	+
KHN0211	+	+	±
IN8	++	++	++
INR20	±	+	±

++ : marked growth    + : growth    ± : no growth    - : decreased

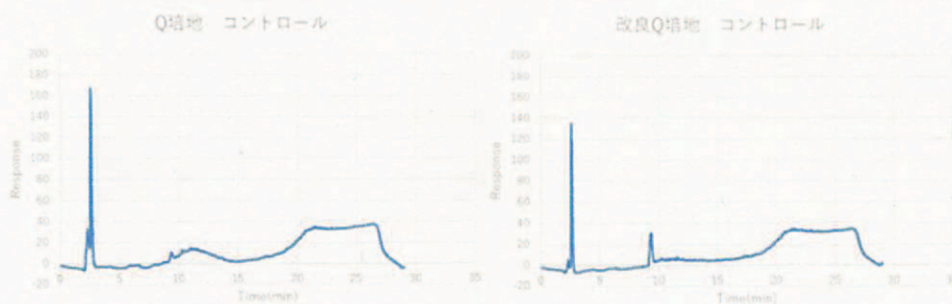


Fig. 4 Q 培地と改良 Q 培地における HPLC プロファイルの比較 (コントロール)

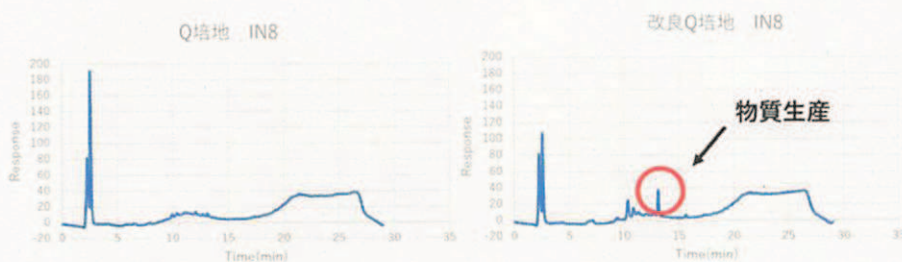


Fig. 5 Q 培地と改良 Q 培地における HPLC プロファイルの比較 (IN8)

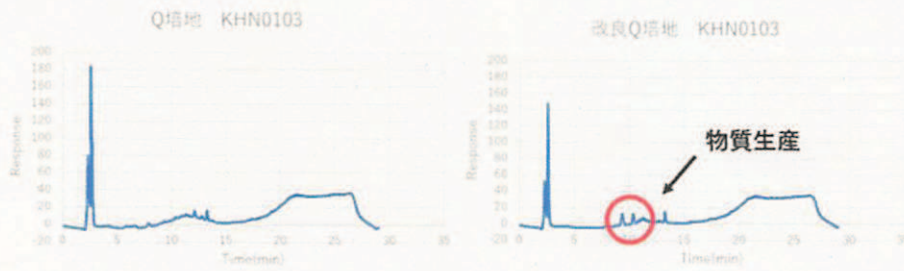


Fig. 6 Q 培地と改良 Q 培地における HPLC プロファイルの比較 (KHN0103)

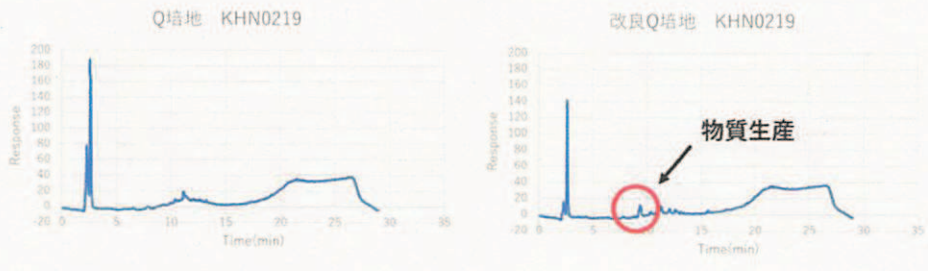


Fig. 7 Q 培地と改良 Q 培地における HPLC プロファイルの比較 (KHN0219)

(4)改良培地の RNA-seq

*Actinoplanes nipponensis* NBRC 14063<sup>T</sup> を YG 培地 (1.0% yeast extract, 1.0% glucose, pH 7.0)、Q 培地、改良 Q 培地で培養し、RNA-seq 解析を行った。得られたシーケンスデータから各遺伝子の発現量 (TPM 値) を算出し、培地間で発現量の比較を行い、簡易的なベン図を製作した(Fig. 8)。その結果、培地間で発現量が変動する遺伝子群が確認された。しかし、本解析は各培地 1 サンプル (n=1) で実施しており、統計的検定は行っていない。

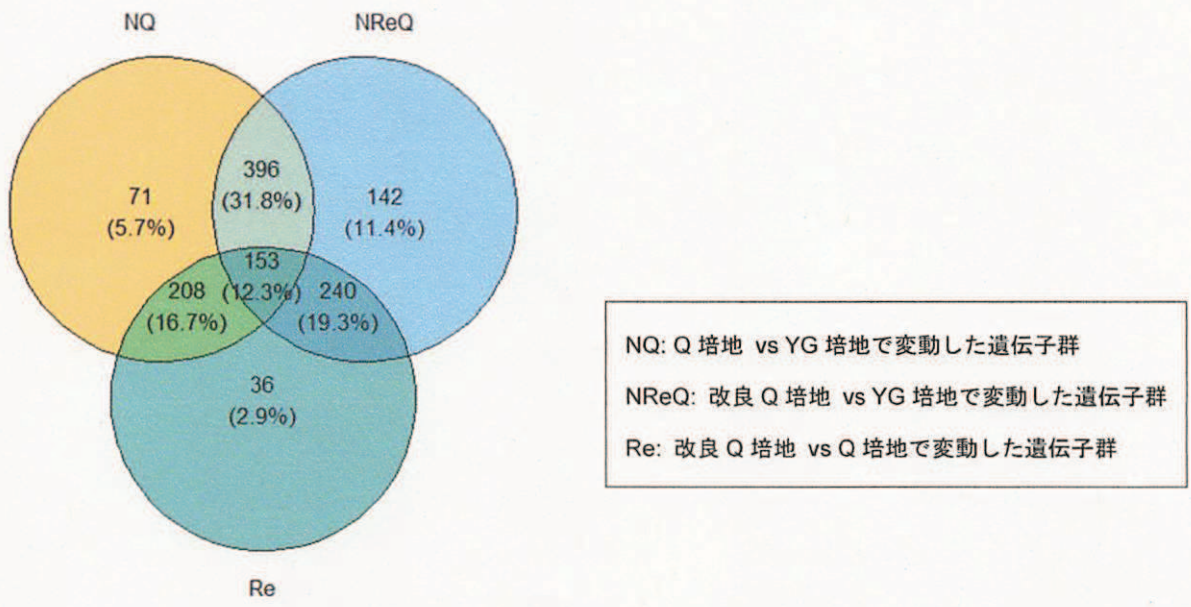


Fig. 8 培地条件間における発現変動遺伝子の重複解析

Fig. 8 から、Q 培地 (NQ) で発現変動を示した遺伝子数は、NQ 特異的領域 (71) に加え、NQ と NReQ の共通領域 (396)、NQ と Re の共通領域 (208)、および 3 条件共通領域 (153) を合計した 828 遺伝子 ( $= 71 + 396 + 208 + 153$ ) であった。同様に、改良 Q 培地 (NReQ) で発現変動を示した遺伝子数は、NReQ 特異的領域 (142) に加え、NQ と NReQ の共通領域 (396)、NReQ と Re の共通領域 (240)、および 3 条件共通領域 (153) を合計した 931 遺伝子 ( $= 142 + 396 + 240 + 153$ ) であった。次に、Q 培地と改良 Q 培地の類似性を評価するため、両条件で共通して変動した遺伝子数を算出した。共通部分は、NQ と NReQ の共通領域 (396) に 3 条件共通領域 (153) を加えた 549 遺伝子 ( $= 396 + 153$ ) であり、これは Q 培地で変動した 828 遺伝子のうち約 66% に相当した ( $549/828 \approx 0.66$ )。したがって、Q 培地と改良 Q 培地では共通して変動する遺伝子が多数存在し、両培地は全体として類似した発現パターンを示す可能性が示唆された。

一方で、各培地に特異的な発現変動も確認された。改良 Q 培地側に特異的な変動遺伝子は、NReQ 特異的領域 (142) に加え、NReQ と Re の共通領域 (240) を合計した 382 遺伝子 ( $= 142 + 240$ ) であった。これに対し、Q 培地側に特異的な変動遺伝子は、NQ 特異的領域 (71) に加え、NQ と Re の共通領域 (208) を合計した 279 遺伝子 ( $= 71 + 208$ ) であった。以上より、Q 培地と改良 Q 培地は共通して変動する遺伝子が多い一方で、改良 Q 培地では Q 培地よりも追加的な発現変動が生じている可能性が示唆された。

ただし、本解析は生物学的反復を伴わない探索的解析 ( $n=1$ ) であるため、これらの結果は発現変動の傾向を示すものとして解釈する必要がある。だが、改良 Q 培地で培養された *Actinoplanes* 属には Q 培地よりも多くの遺伝子が発現しており、改良 Q 培地は *Actinoplanes* 属の物質生産を促す培地である可能性が示唆された。

## 5 今後の展望

本研究を通じて、*Actinoplanes* 属における物質生産性は単一成分ではなく、炭素源量、窒素源形態、pH 緩衝能、培地物理特性など複数要因の相互作用によって制御されていることが明らかとなった。また、菌株ごとに最適条件が異なることも示され、今後は菌株特異的な培地最適化が重要であると考えられる。本研究は、当研究室が保有する新種推定 *Actinoplanes* 属株の潜在的生産能力を引き出すための基盤的知見を提供するものであり、将来的な新規抗生物質スクリーニングの効率化に寄与することが期待される。

## 6 研究成果の発信方法 (予定を含む)

本研究は、大村記念微生物資源研究フロウティラに関わるプロジェクトの 1 つであることから、山梨大学医学部にて行われた 2025 年度フロウティラ成果報告会にて発表を行った (<https://flotilla.yamanashi.ac.jp/news/news-67/>)。また、本研究成果は 2026 年度(第 40 回)日本放線菌学会大会(<https://www.actino.jp/>)にて発表する予定である。