



持続的・地産地消型の食料生産を目指した「藻類・動物細胞リサイクル培養システム」の構築

東京女子医科大学、インテグリカルチャー株式会社

藻類・動物細胞を用いた物質循環型食料生産

地球外での長期滞在においては可能な限り資源(物質)を循環させ、廃棄物を極小化する必要がある。本研究では、宇宙空間で豊富に利用できる光エネルギーを駆動源として、藻類・動物細胞・ヒトの間で物質が循環するような全く新しい食料生産システムの開発を目指している(図1)。藻類は光エネルギーを利用して無機物から糖・アミノ酸・ビタミンなどの栄養源を作り出し、O₂を放出する。これらを利用することで動物細胞を増幅し、培養肉などの培養食料を生産できる可能性がある。さらに、動物細胞が排出するCO₂やNH₃は藻類の培養にリサイクルすることができる。また、培養食料を食べたヒトが排出するCO₂や排泄物の成分も藻類の培養に利用できる可能性がある。

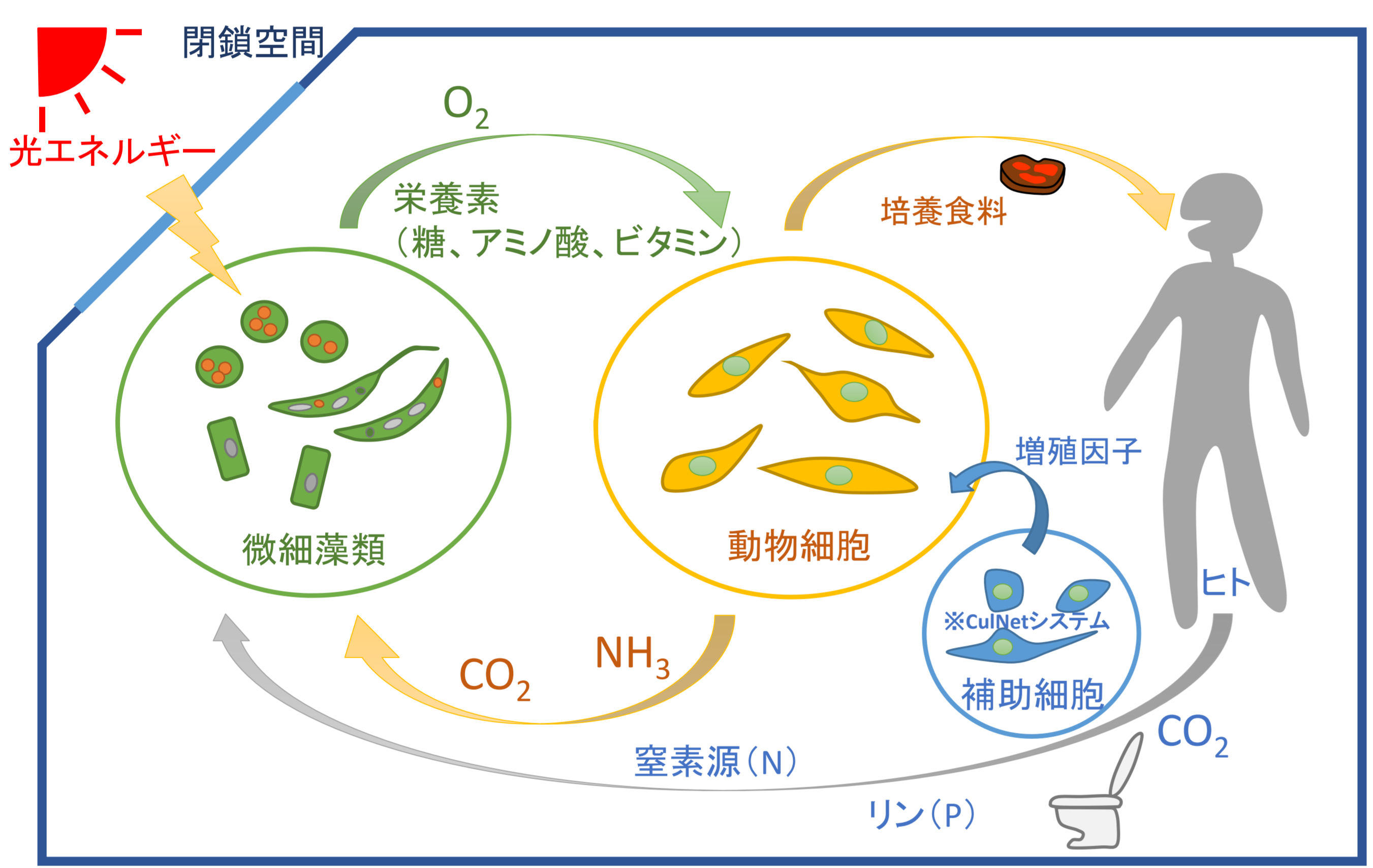


図1 閉鎖空間での物質循環型食料生産システム

検討1: 動物細胞と共存可能な藻類の選定

通常の動物細胞培養では大気中の酸素が培養液に溶け込むことで呼吸をしているが、培養液中の酸素の拡散速度は限られているので大量の細胞を培養する際には酸素不足になる。藻類が光合成の副産物として発生させる酸素を利用できれば、動物細胞の効率的な培養ができる可能性がある。さらに動物細胞が呼吸によって生み出す二酸化炭素やアミノ酸等の代謝によって生成するアンモニアを藻類が利用できる可能性もある。

課題としては藻類と動物細胞が同時に生育可能な共培養環境を見つけることである。動物細胞は一般的に体温付近(37°C前後)で最もよく生育し、増殖する。また、生理食塩水と呼ばれる0.9%の食塩水に近い浸透圧でないと生存できない。そこで、まず、このような動物細胞の培養環境で生存可能な単細胞微細藻類を探索した。現在の探索の範囲では緑藻のスティココッカスが動物細胞培養環境に耐性があり、かつ、酸素発生型光合成が確認できた(図2)。

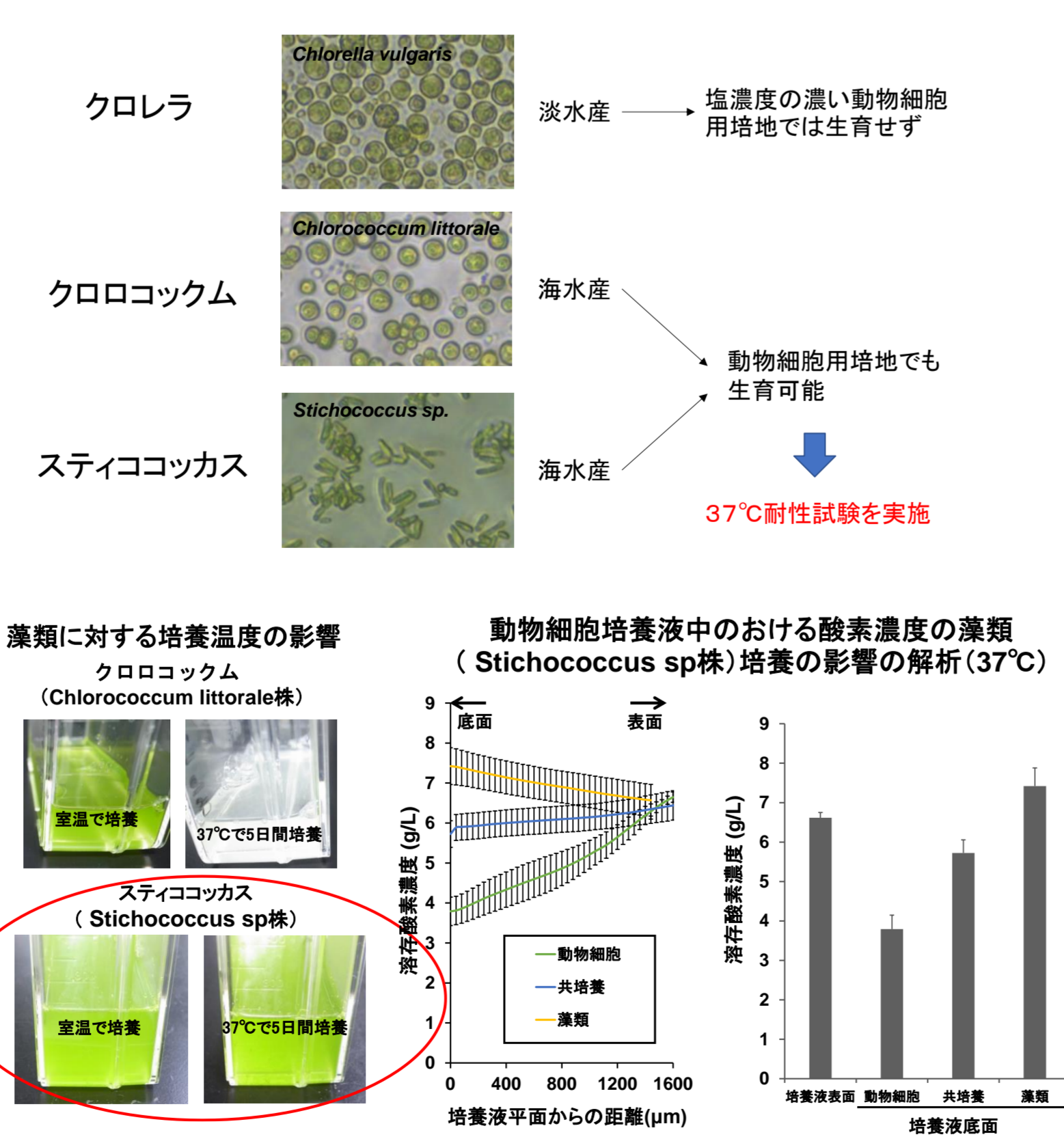


図2 共培養藻類の選定

検討2: 藻類・動物細胞の共培養 ~O₂・CO₂・アンモニアの交換~

次に藻類(スティココッカス)と動物細胞(マウス筋芽細胞)の共培養条件を検討した(図3)。はじめに一般的に動物細胞の培養に用いられている37°Cで培養を行ったところ、藻類の白化現象(枯死)が見られた。これは、温度ストレスと浸透圧ストレスが重畳したためと考えられた。そこで、培養温度について検討したところ34°Cで培養することで数日間スティココッカスが生存することが分かった。次に、実際に藻類から発生するO₂を動物細胞が利用することを確認するため、酸素吸収剤を用いた無酸素環境下での細胞培養を行った。その結果、無酸素状態で3日間動物細胞を培養することができた(図3A)。この時、藻類を添加した群では培養液中のアンモニア濃度が低下していたことから、動物細胞から発生したアンモニアが藻類によって利用されていることが確認できた(図3B)。一方、無酸素条件でのCO₂濃度の影響を調べたところ5%では藻類添加効果が低下したことから、動物細胞から発生するCO₂のみでは藻類にとっては十分ではないと考えられた。

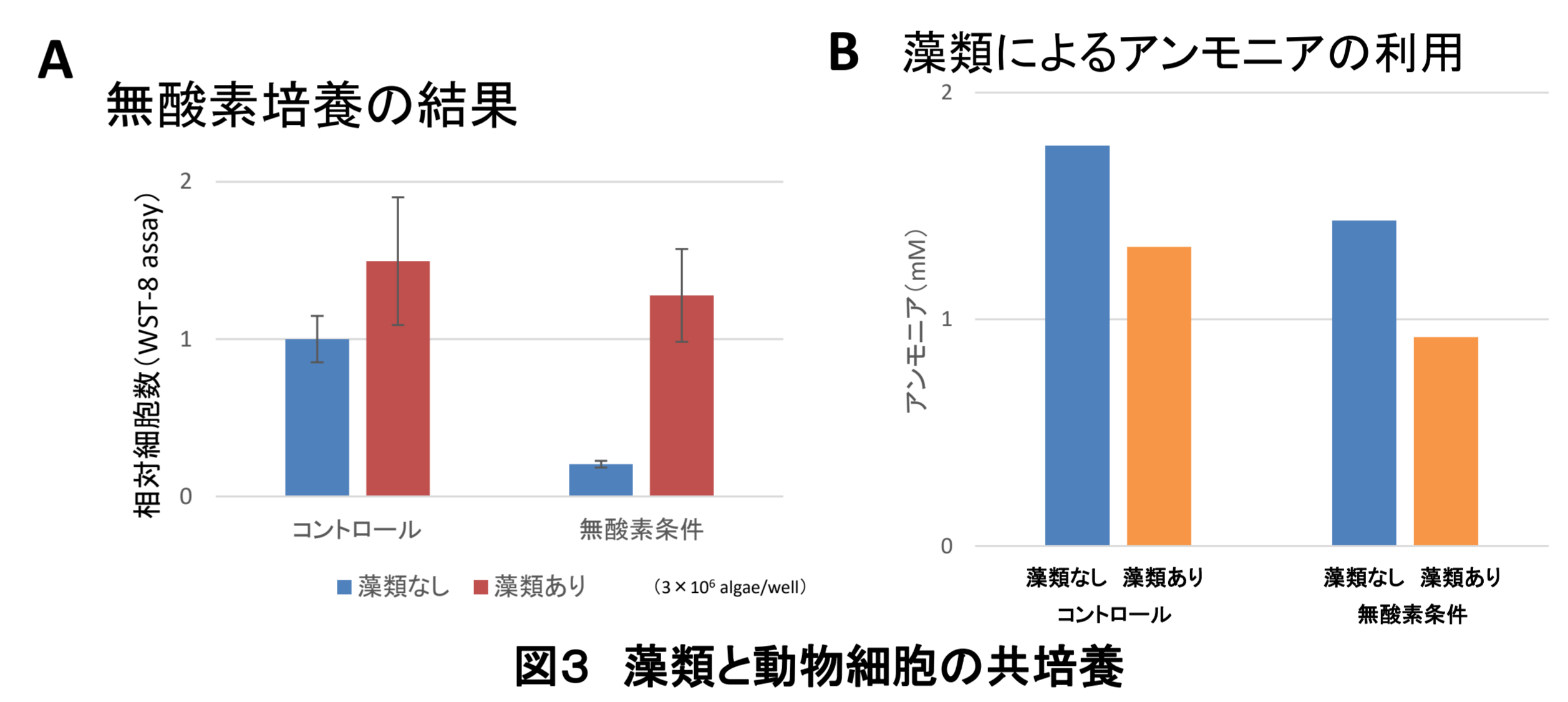


図3 藻類と動物細胞の共培養

検討3: 藻類からの栄養素抽出と増殖因子の供給

我々の研究所では藻類からグルコースやアミノ酸などの動物細胞に必要な栄養素を抽出できることを確認している。しかし、これまでの酸処理による手法は液置換や高温処理、中和処理等を必要としていた。そこで、設備や空間が限られた地球外での実施に向けて、よりシンプルな方法として超音波処理と酵素処理、および、その組み合わせによる抽出条件を検討している(表1)。これまでに、実際の藻類抽出液(酸化防止剤等含む)と無機塩類を組み合わせることで、市販の動物細胞用培地(DMEM)と同等の細胞増殖を得ることに成功した(図4)。さらに、ウシ胎児血清(FBS)に代わる増殖因子供給細胞(CN3細胞)培養上清の増殖効果を検討した(図5)。また、CN3細胞をFBSフリーで藻類抽出液のみで培養することにも成功した(図6)。

表1 栄養素抽出の例 (藻類1×10⁹個)

グルコース	2.9 mg
スクロース	0.41 mg
ガラクトース	0.016 mg
グルタミン	0.045 mg
グルタミン酸	0.14 mg

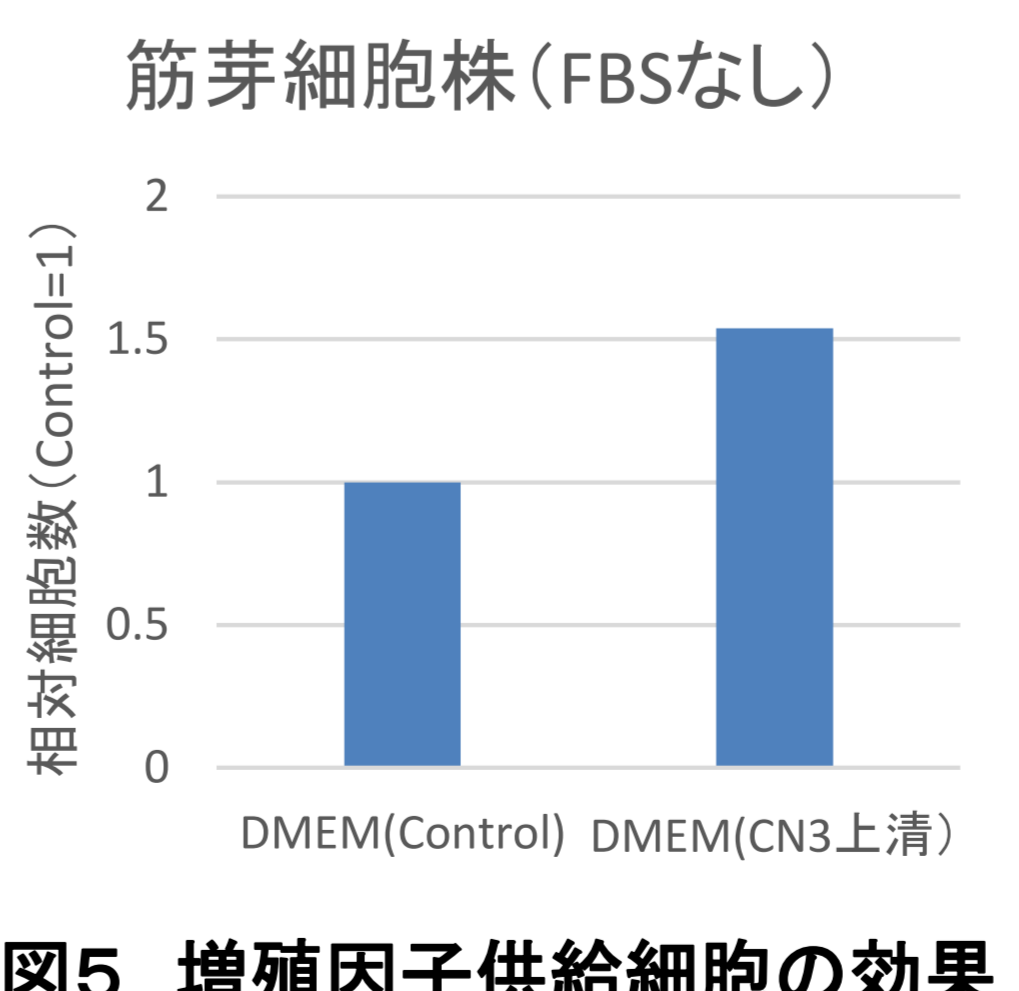


図5 増殖因子供給細胞の効果

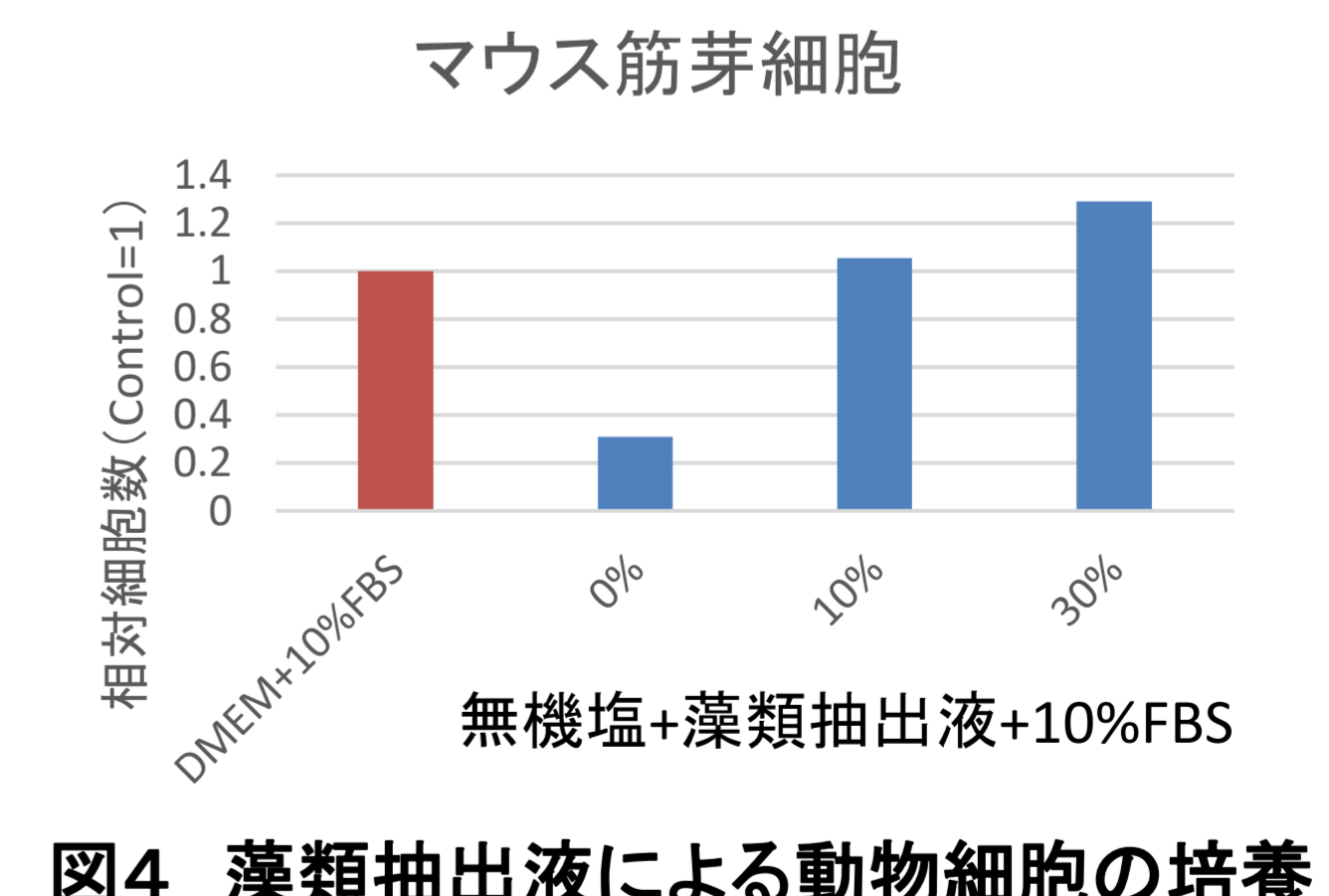


図4 藻類抽出液による動物細胞の培養

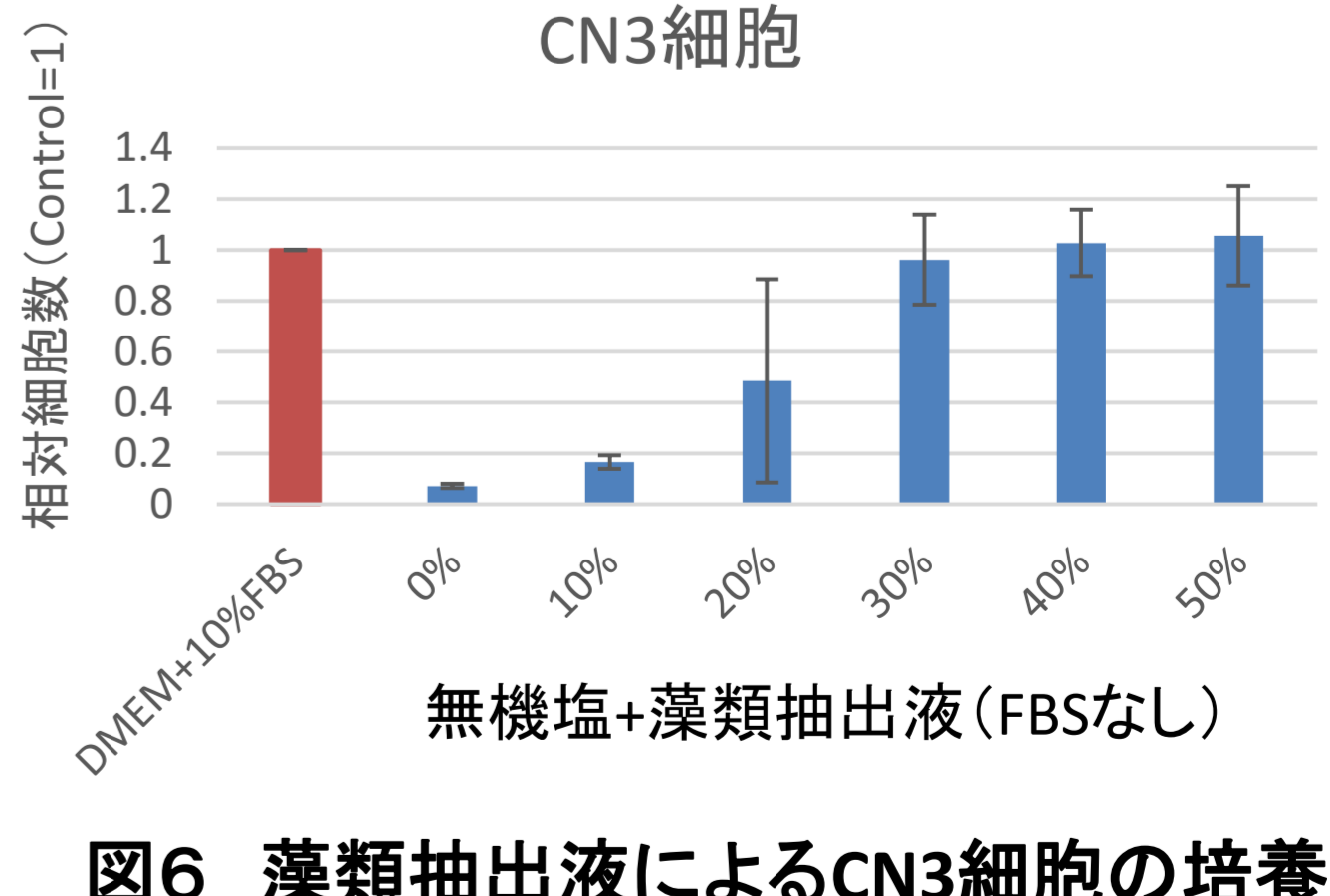


図6 藻類抽出液によるCN3細胞の培養

