



磁性細菌 *Magnetospirillum magnetotacticum*
MS-1により合成されたマグネタイトの磁気特性につ
いての研究

| | |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: eng 出版者: 公開日: 2016-06-08 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: イ, ロルト メールアドレス: 所属: |
| URL | https://doi.org/10.15118/00008930 |

| | |
|--------|---|
| 氏名 | イロルト YIRILETU |
| 学位論文題目 | Study on the magnetic properties of magnetite synthesized by <i>Magnetospirillum magnetotacticum</i> MS-1 (磁性細菌 <i>Magnetospirillum magnetotacticum</i> MS-1 により合成されたマグネタイトの磁気特性についての研究) |
| 論文審査委員 | 主査 教授 岩佐達郎 教授 酒井彰 准教授 澤田研 |

論文内容の要旨

磁性細菌 (magnetotactic bacteria, MTB) は、環境の地磁気線に応じて移動する細菌である。MTB の菌体内で大きさが 35~120 nm の磁性ナノ粒子 (magnetic nanoparticles, MNPs ; マグネタイト (Fe_3O_4) またはグレガイト (Fe_3S_4)) が形成される。MNPs のそれぞれは、リン脂質二重層に囲まれていて 15~20 個並んだ「マグネトソーム (magnetosome)」と呼ばれるチェーン構造を形成している。初期に単離培養された MTB は *Magnetospirillum magnetotacticum* MS-1 で、単磁区で高純度の Fe_3O_4 の結晶を生成する。本博士論文は、異なる Fe^{3+} の濃度及び異なる遷移金属元素 (Fe/Zn/Co) を含む培地で培養した MTB 株 MS-1 で合成されるマグネタイトの磁気特性を MPMS で調べたものである。主要な結果は以下のとおりである。

まず、異なる Fe^{3+} の濃度の影響について述べる。MS-1 細胞の総量は培地中の初期 Fe^{3+} の濃度と関係がなかったが、 Fe^{3+} の濃度が上がるにつれ、磁石に引きつけられる細胞の量が多くなることが分かった。培地中の Fe^{3+} が 34 μM のとき、保磁力 (H_c) と飽和磁化 (M_s) の最大値が観察された。Verwey 転移温度 (T_v) とブロッキング温度 (T_b) ($T_v < T_b$) との関係は、培地中の初期の Fe^{3+} 濃度と関係なく、MS-1 細胞の増加に伴い、MNP がチェーン状に配置されていることを示唆している。これらの結果は、マグネタイトの磁気特性は培地中の Fe^{3+} の濃度にわずかであるが影響されることを示唆する。

次に、異なる遷移金属元素 (Fe/Zn/Co) を含む培地を用いた結果について述べる。MS-1 細胞の成長速度は培地中の Fe、Zn あるいは Co に影響されないが、合成され

るマグネトソームのサイズが Zn 或は Co 培地では小さくなる。 H_c 、 M_s 、 T_V 、 T_B 値の変化から見て、細胞全体 (IC)、マグネトソーム (MG) とマグネタイト (MT) における磁気特性が Zn 或は Co に影響されることが分かった。Zn を含む培地では、IC、MG と MT の M_s 値が低下する。そして、IC と MG の H_c 値は標準 Fe のそれと比べ有意差がなかったが、MT の H_c 値が大きくなった。また、標準 Fe の T_V と比べて、IC、MG と MT の T_V 値には変化がなかったが、IC、MG の T_B 値は大きくなった。MT の T_B 値には変化がなかった。Co を含む培地では、標準 Fe の H_c 値と比べて IC、MG と MT における H_c 値が大きくなった。 M_s 値が IC、MG で低下したが、MT では大きな変化がなかった。また、 T_V と T_B 値はどちらの培地でも検出できなかった。以上の結果は、培地中の Co や Zn がマグネタイト中に微量取り込まれたことを示唆していると考えられる。

ABSTRACT

Magnetotactic bacterium (MTB) is a class of bacterium which tends to move in response to the environment's geomagnetic lines. MTB forms magnetic nanoparticles (MNPs: *e.g.* magnetite Fe_3O_4 or greigite Fe_3S_4) with a size of 35-120 nm *in vivo*. Each of MNPs is surrounded by a phospholipid bilayer. They form a chain structure composed of 15-20 MNPs, which is called "magnetosome". The first MTB strain isolated and cultured was *Magnetospirillum magnetotacticum* MS-1, which produces highly pure Fe_3O_4 crystals with a single magnetic domain. My doctoral thesis is a summary of an investigation of the magnetic properties of magnetite synthesized by MTB strain MS-1 cells grown with different concentrations of ferric (Fe^{3+}) iron or with different conditions of transition metal element (Fe/Zn/Co). The results were as follows:

The total yield of magnetic cells of MS-1 increased with the increase of the initial Fe^{3+} concentrations, even though the total yield of the MS-1 cells was independent on the initial Fe^{3+} concentrations. The maximum coercivity (H_c) and saturation magnetization (M_s) values were observed at Fe^{3+} concentration of 34 μM . The relationship between Verwey transition temperature (T_V) and Blocking temperature (T_B) ($T_V < T_B$) of dried cells suggested that MNPs were arranged in chain when MS-1 cells were grown with the different initial Fe^{3+} concentration. The above results illustrated that the initial Fe^{3+} concentration had a marginal effect on the magnetic properties of MTB strain MS-1, except for the medium without addition of Fe^{3+} .

In the growth medium (GM) containing transition metal element (Fe/Zn/Co), the growth rate of MS-1 cells was not significantly different. The size of

magnetosome became smaller in the GM with Fe/Zn or Fe/Co than that in the GM with Fe. The change in M_s , H_c , T_V , T_B suggested that the magnetic properties of intact cell (IC), magnetosome (MG) and magnetite (MT) was influenced by Zn or Co. In the GM with Fe/Zn, the M_s value of IC, MG and MT was decreased. H_c value of IC and MG was not significantly different with Fe culture, but that of MT was increased. Also, the T_V was not significantly different from that of the GM with Fe in IC, MG and MT, but the T_B value of IC and MG was increased. The T_B of MT unchanged. In the GM with Fe/Co, the H_c value of IC, MG and MT increased and M_s in IC or MG decreased. M_s value of MT was not significantly different from the value of Fe. T_V and T_B were not detected.

論文審査結果の要旨

本博士論文は、異なる Fe^{3+} の濃度及び異なる遷移金属元素 (Fe/Zn/Co) を含む培地で培養した磁性細菌 (magnetotactic bacteria, MTB)、*Magnetospirillum magnetotacticum* MS-1 で合成されるマグネタイトの磁気特性を MPMS で調べたものである。磁性細菌、MTB は、環境の地磁気線に応じて移動する細菌である。MTB の菌体は大きさが 35~120 nm の磁性ナノ粒子 (magnetic nanoparticles, MNPs) を形成する。MNPs のそれぞれは、リン脂質二重層に囲まれていて 15~20 個並んだ「マグネトソーム」と呼ばれるチェーン構造を形成している。MTB の研究初期に単離培養された株は *Magnetospirillum magnetotacticum* MS-1 で、単磁区で高純度の Fe_3O_4 の結晶を生成する。MNPs を工業や医療分野でより広く利用するため、MTB より得られる Fe_3O_4 の磁気特性を調べることは重要である。しかし、先行研究では、培地中の Fe^{3+} 濃度が 25 或は 34 μM でのマグネタイトの磁気特性の検討にとどまっていた。本研究ではより広い濃度範囲において MTB を培養し、その磁気特性変化を調べた。主要な結果は以下のとおりである。

異なる Fe^{3+} の濃度の影響について調べた。MS-1 細胞の総量は培地中の初期 Fe^{3+} の濃度と関係がなく、ほぼ一定量であったが、培地中の Fe^{3+} の濃度が上がるにつれ、磁石に引きつけられる細胞の量が多くなることがわかった。培地中の Fe^{3+} が 34 μM のとき、保磁力 (H_c) と飽和磁化 (M_s) の最大値が観察された。Verwey 転移温度 (T_V) とブロッキング温度 (T_B) ($T_V < T_B$) との関係は、培地中の初期の Fe^{3+} 濃度と関係なく、MS-1 細胞の増加に伴い、MNP がチェーン状に配置されていることを示唆している。これらの結果は、マグネタイトの磁気特性は培地中の Fe^{3+} の濃度に影響されていることを示唆する結果である。

次に、異なる遷移金属元素 (Fe/Zn/Co) を含む培地を用いた結果、培地中の Zn や Co がマグネタイト中に取り込まれたことが示唆された。合成されるマグネトソームのサイズが Zn 或は Co 培地では小さくなった。 H_c 、 M_s 、 T_V 、 T_B 値の変化から見て、細胞全体 (IC)、マグネトソーム (MG) とマグネタイト (MT) における磁気特性が Zn 或は Co に影響されることがわかった。Zn を含む培地では、IC、MG と MT の M_s 値が低下する。そして、IC と MG の H_c 値は標準 Fe 試料の値と比べ有意差がなかったが、MT の H_c 値は大きくなった。また、標準 Fe 試料の T_V 値と比べて、 T_V 値には変化がなかったが、IC、MG の T_B 値は大きくなった。MT の T_B 値には変化がなかった。Co を含む培地では、標準 Fe 試料の H_c 値と比べて IC、MG と MT における H_c 値が大きくなった。

これらの結果は関連する学会誌にも記載され、今後の MTB の研究において、培地中の金属イオンの影響を考慮することの重要性を示したものと評価されている。以上、本博士論文は博士 (工学) の学位に値するものと認められた。