

極小曲面のガウス写像の除外値問題への新しい視点

A new perspective for a problem on the number of exceptional values of the Gauss map for minimal surfaces

名古屋大学多元数理科学研究科 川上 裕 (Kawakami Yu)

概要

We refine Osserman's argument on the exceptional values of the Gauss map of algebraic minimal surfaces. This gives an effective estimate for the number of exceptional values and the totally ramified value number for a wider class of complete minimal surfaces that includes algebraic minimal surfaces. It also provides a new proof of Fujimoto's theorem for this class, which not only simplifies the proof but also reveals the geometric meaning behind it.

1 序

この研究は、名古屋大学の小林亮一先生、九州大学の宮岡礼子先生との共同研究に基づいている。この講演では、論文 [8] で得た \mathbb{R}^3 内の擬代数的極小曲面の Gauss 写像の除外値数と完全分岐値数の評価に関する結果とその意義について、問題の背景や歴史などを交えて紹介する。

\mathbb{R}^3 内の極小曲面の Gauss 写像は開 Riemann 面上の有理型関数とみなすことができるので、複素解析の理論との対応から様々な問題や結果が生まれてきた。特に重要な問題として「Gauss 写像の除外値問題」が挙げられる。これは「平面でない完備極小曲面の Gauss 写像の除外値数の上限はいくつか?」という問題で、1988 年に藤本坦孝先生が論文 [2] で除外値数は高々 4 であるという最良の結果を示した。一方、Osserman 先生は論文 [11] で平面でない代数的極小曲面（有限全曲率完備極小曲面のこと）の Gauss 写像の除外値数は高々 3 であることを示した。しかし、この結果が最良であるかどうかは未解決である。実際、除外値数が 3 の代数的極小曲面の例は現在まで発見されていない。除外値数が 2 の例は“Catenoid”などいくつか知られているので、多くの研究者は「この場合の除外値数の上限の最良の評価は 2 ではないか?」と予想している。そこで我々はこれまで知られている結果を複素解析の値分布論の視点から改めて見直し、いくつか興味ある結果を得ることができた。その中で特に重要なのは Gauss 写像の完全分岐値数に関する結果である。除外値数の評価を調べるための最も有効な方法として、値分布論の諸結果を統一的に説明できる Nevanlinna 理論を適用することが考えられる。その際、除外値数を一般化した完全分岐値数という数が評価される。藤本先生は 1992 年に論文 [3] で平面でない完備極小曲面の Gauss 写像の完全分岐値数の上限は 4 であることを示した。これは除外値数の上限“4”と一致している。この事実と多くの研究者の予想から、平面でない代数的極小曲面の Gauss 写像の完全分岐値数の上限は“2”であると予想されていた。しかし、我々は代数的極小曲面の Gauss 写像の完全分岐値数を調べた結果、完全分岐値数が“2.5”の例が存在することが分かった ([6])。この結果を受けて、我々は論文 [11] での Osserman 先生の除外値数に関する結果を完全分岐値数という視点で見直すことで、特殊な無限全曲率の例を含む“擬代数的極小曲面”に対して、完全分岐値数の最良の評価を得ることができた。

さらにこの評価式から，除外値数“4”の幾何学的な意味や代数的極小曲面の場合に除外値数の上限が“3”になるメカニズムを理解することができた．次節以降このことに関して詳しく述べることにする．

2 準備

この節では，これから議論する上で必要な極小曲面論の基本事項といくつかの例を紹介する．平均曲率が恒等的に0となる \mathbb{R}^3 内の曲面 $x: M \rightarrow \mathbb{R}^3$ のことを極小曲面(minimal surface)という．複素座標を $z = u + iv$ ， $\partial = \frac{\partial}{\partial z} = \frac{1}{2}(\frac{\partial}{\partial u} - i\frac{\partial}{\partial v})$ とする． \mathbb{R}^3 内の曲面が極小曲面であることと次の式は同値になる．

$$\bar{\partial}\partial x = 0 \quad (1)$$

(1)は，各成分関数が調和関数であることを意味しているので，このことから境界のないcompactな極小曲面は存在しないことがわかる．また，曲面の各点をその点の有向接平面に対応させる写像

$$\partial x: M \ni p \mapsto [\partial x^1(p) : \partial x^2(p) : \partial x^3(p)] \in \mathbb{Q}^1(\mathbb{C}) \subset \mathbb{P}^2(\mathbb{C})$$

は正則写像となる．ここで $\mathbb{Q}^1(\mathbb{C}) = \{[w] \in \mathbb{P}^2(\mathbb{C}) \mid \langle w, w \rangle = 0\}$ (\langle, \rangle は複素線形な双2次形式)は \mathbb{R}^3 内の有向2次元線形部分空間全体のなす空間であり，その単位法ベクトルを対応させることで， $S^2 \simeq \mathbb{P}^1(\mathbb{C})$ と同一視される．このことから極小曲面を通常のGauss写像 $g: M \rightarrow \mathbb{P}^1(\mathbb{C})$ が正則写像になる曲面として特徴付けることができる．また， $\phi_i = \partial x^i$ として次の写像を考える．

$$\phi = \partial x = (\phi_1, \phi_2, \phi_3): M \rightarrow \mathbb{C}^3$$

この写像は次の3つの条件をみたす．

(C) 共形条件： $\sum \phi_i^2 = 0$

(R) 正則条件： $\sum |\phi_i|^2 > 0$

(P) 周期条件：任意の $\gamma \in H_1(M, \mathbb{Z})$ に対して， $Re \int_\gamma \phi = 0$

このとき，

$$hdz = \phi_1 - i\phi_2, \quad g = \frac{\phi_3}{\phi_1 - i\phi_2} \quad (2)$$

として与える (hdz, g) はそれぞれ M 上の正則1-form，有理型関数であり，特に g はGauss写像となる．また，次の関係式が成り立つ．

$$\phi_1 = \frac{1}{2}(1 - g^2)hdz, \quad \phi_2 = \frac{i}{2}(1 + g^2)hdz, \quad \phi_3 = gh dz \quad (3)$$

さらに， \mathbb{R}^3 からの誘導計量 ds^2 とそのGauss曲率 K は

$$ds^2 = (1 + |g|^2)^2 |h|^2 |dz|^2 \quad (4)$$

$$K = -\frac{4|g'|^2}{|h|^2(1 + |g|^2)^4} \quad (5)$$

と与えられ，特に $K \leq 0$ である．

逆に， M 上の正則1-formと有理型関数の組 (hdz, g) が与えられたとき，(3)によって $\phi = (\phi_1, \phi_2, \phi_3)$ を定義する．このとき，共形条件(C)は自動的にみたされ，正則条件(R)は(4)から「 g の位数 k の極でのみ hdz は位数 $2k$ の零点をもつ」となることが分かる．もし， ϕ が周期条件(P)をみたせば，極小曲面は次の式で得られる．

$$x(z) = 2Re \int_{z_0}^z \phi \quad (6)$$

周期条件 (P) がみたされないとき, 曲面は M の普遍被覆面上で定義される. 組 (hdz, g) を極小曲面の Weierstrass データ (W-data と略す) という.

曲面 M が誘導計量 ds^2 に関して完備 (complete) であるとは, M の任意の発散路を ds^2 で測った長さが無限大になるときをいう. 極小曲面 M の全曲率 $\tau(M)$ (total curvature) は次の式で与えられる.

$$\tau(M) = \int_M K dA = - \int_M \frac{4|g'|^2}{(1+|g|^2)^2} |dz|^2 \quad (7)$$

その絶対値 $|\tau(M)|$ は Gauss 写像の像の Fubini-Study 計量による面積に他ならない. 我々は有限全曲率をもつ完備極小曲面のことを代数的極小曲面 (algebraic minimal surface) と呼ぶことにする. 代数的極小曲面に関しては次のことが成り立つ.

定理 2.1 (Huber-Osserman)

1. 代数的極小曲面 M は compact Riemann 面 \bar{M} から有限個の点を除いたものと等角同値である. ([5])
2. このとき W-data は \bar{M} 上に有理型に拡張される. ([12])

完備極小曲面の例をいくつか紹介する. ここで, Gauss 写像の除外値数 (the number of exceptional values) とは, $\mathbb{P}^1(\mathbb{C})$ における Gauss 写像の像の補集合の元の個数, つまり Gauss 写像の値にならない $\mathbb{P}^1(\mathbb{C})$ 内の集合の元の個数である.

例 2.1 (Catenoid)

$M = \mathbb{P}^1 \setminus \{0, \infty\}$ とし, W-data を次のように定める.

$$(hdz, g) = \left(\frac{1}{z^2} dz, z \right)$$

これは条件 (R), (P) をみたすので, 全曲率 -4π の代数的極小曲面となり, 実際 Catenoid を生成する. Gauss 写像の除外値数は 2 である.

例 2.2

$M = \mathbb{P}^1 \setminus \{\pm i, \infty\}$ とし, W-data を次のように定める.

$$(hdz, g) = \left(\frac{(z^2 + t)^2}{(z^2 + 1)^2} dz, \sigma \frac{z^2 + 1 + a(t-1)}{z^2 + t} \right) \quad (8)$$

但し, a, t は $(a-1)(t-1) \neq 0$ をみたす実数で $\sigma^2 = \frac{t+3}{a\{(t-1)a+4\}} < 0$ とする. これは条件 (R), (P) をみたす (詳しくは論文 [9] 参照) ので, 全曲率 -8π の代数的極小曲面となる. Gauss 写像の除外値数は 2 である.

例 2.3 (Voss 曲面)

$a_1, a_2, a_3 \in \mathbb{C}$ を異なる 3 点とし, W-data を $M = \mathbb{C} \setminus \{a_1, a_2, a_3\}$ 上で次のように定める.

$$(hdz, g) = \left(\frac{dz}{\prod (z - a_i)}, z \right) \quad (9)$$

これは周期条件 (P) をみたさないで, M の普遍被覆面上で曲面を定義する. これは無限全曲率完備極小曲面となる. Gauss 写像の除外値数は 4 である. 一般に $a_1, a_2, \dots, a_k \in \mathbb{C}$ を異なる k 点とし, W-data を $M = \mathbb{C} \setminus \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ 上で (9) の形で定めたとき, 完備性をみたすためには $k \leq 3$ である必要がある. つまり a_i は高々 3 点しかとれない.

3 主結果とその証明

この節では, Gauss 写像の完全分岐値数を定義し, 我々が得た結果とその証明を紹介する. まず, 一般の有理型関数に対する完全分岐値数を次のように定義する.

定義 3.1 (R.Nevanlinna, [10])

M を Riemann 面, f を M 上の有理型関数とする. このとき値 $b \in \mathbb{P}^1(\mathbb{C})$ が f の完全分岐値 (totally ramified value) であるとは, b が f の除外値か, b の f による逆像の点がすべて f の分岐点になるときをいう. 次に f の完全分岐値数を定義する. f の完全分岐値の集合を $\{a_1, \dots, a_{r_0}, b_{r_0+1}, \dots, b_{r_0+l_0}\}$ とする. ここで a_i は除外値, b_i は除外値でない完全分岐値とする. a_i については $\nu_i = \infty$, b_i については $f^{-1}(b_i)$ の各点における f の重複度の最小値を ν_i とする. 特に, $\nu_i \geq 2$ である. このとき f の完全分岐値数 (totally ramified value number) ν_f を

$$\nu_f = \sum_{a_i, b_i} \left(1 - \frac{1}{\nu_i}\right) = r_0 + \sum_{i=1}^{l_0} \left(1 - \frac{1}{\nu_i}\right) \quad (10)$$

で定義する.

注意 3.1

f の除外値数を D_f とすると, 定義より $D_f \leq \nu_f$ が成り立つ. つまり完全分岐値数の評価は除外値数の評価を含んでいる.

極小曲面の Gauss 写像は開 Riemann 面上の有理型関数とみなせるので, 完全分岐値数が定義できる. 一般の完備極小曲面の完全分岐値数に関しては次の結果がある.

定理 3.1 (Fujimoto, [3])

$x: M \rightarrow \mathbb{R}^3$ を平面でない完備極小曲面, g をその Gauss 写像とする. D_g を g の除外値数, ν_g を g の完全分岐値数とする. このとき次の式が成り立つ.

$$D_g \leq \nu_g \leq 4$$

我々は代数的極小曲面の Gauss 写像の完全分岐値数に関して次の結果を得た.

定理 3.2 ([6])

$\nu_g = 2.5$ となる代数的極小曲面が存在する. 実際, 例 2.2 の曲面がその例である.

(証明) 例 2.2 の曲面の Gauss 写像は, 除外値数が 2 で, 次数が 2 より $z = 0$ での値 $g(0) = \sigma\{1+a(t-1)\}/t$ は完全分岐値で, 重複度が 2 より (10) から $\nu = 2+1/2 = 2.5$ となる.

完全分岐値に関する評価を, 代数的極小曲面を含むより広いクラスの完備極小曲面について統一的に議論する.

定義 3.2 ([8])

完備極小曲面が擬代数的極小曲面 (pseudo-algebraic minimal surface) であるとは, 次を条件をみたま W -data で構成される完備極小曲面 $x: M$ (または \tilde{M}) $\rightarrow \mathbb{R}^3$ のことである.

1. W -data (hdz, g) が穴あき Riemann 面 $M = \overline{M} \setminus \{p_1, \dots, p_k\}$ 上で定義されている. ここで \overline{M} は compact Riemann 面である.
2. (hdz, g) は \overline{M} 上に有理型に拡張される.

ここで, このクラスの曲面は M またはその被覆面 (普遍被覆面とは限らない) \tilde{M} 上で定義されているものとする. このとき $M = \overline{M} \setminus \{p_1, \dots, p_k\}$ を擬代数的極小曲面の基本領域ということにする.

この定義を標語的に述べれば、「擬代数的極小曲面とは、代数的極小曲面の構成で周期条件をみたまないものも含めたもの」ということである。第2節であげた3つの例(例2.1 ~ 例2.3)はいずれも擬代数的極小曲面の例である。我々はこのクラスの完全分岐値数に関して次のような評価を得ることができた。

定理 3.3

基本領域 $M = \overline{M} \setminus \{p_1, \dots, p_k\}$ をもつ擬代数的極小曲面を考える。 \overline{M} の種数を G, g を \overline{M} 上の写像と考えたときの次数を d とする。このとき次の式が成り立つ。

$$D_g \leq \nu_g \leq 2 + \frac{2}{R}, \quad R = \frac{d}{G-1+k/2} \geq 1 \quad (11)$$

特に代数的極小曲面の場合は $R > 1$ が成り立つ。

上の結果より次の系が成り立つことはすぐに分かる。

系 3.1

平面でない擬代数的極小曲面の Gauss 写像の除外値数は高々4である。特に代数的極小曲面の場合、除外値数は高々3となる。

注意 3.2

代数的極小曲面の構成法として、Klotz-Sario の被覆法がある ([1])。 $x: M \rightarrow \mathbb{R}^3$ は代数的極小曲面で、 $\pi: \tilde{M} \rightarrow M$ が $M = \overline{M} \setminus \{p_1, \dots, p_k\}$ の非分岐被覆であるとする。このとき $\tilde{x} = x \circ \pi: \tilde{M} \rightarrow \mathbb{R}^3$ は新たな代数的極小曲面になる。これは元のものと同じ曲面の像をもつが、定義域の \tilde{M} は元のものとは異なる位相をもつ。しかし、比 R が不変であることは代数的議論で示すことができる。また、 ν_g も不変である。

(定理 3.3 の証明) 曲面を空間内で適当に回転させることで、 g は p_i では極でも零点でもなく、 g の極と零点は単純としてよい。完備性から hdz は p_i で位数 $\mu_i \geq 1$ の極をもつ。周期条件 (P) は $\mu_i \geq 2$ を導くがここでは仮定しない。 α_s を g の単純零点、 β_t を単純極とする。共形条件 (C) より $g, hdz, ghdz$ の零点と極の関係は次の表のようになる。

z	α_s	β_t	p_j
g	0^1	∞^1	
hdz		0^2	∞^{μ_i}
$ghdz$	0^1	0^1	∞^{μ_i}

\overline{M} 上の有理型 1-form hdz または $ghdz$ に Riemann-Roch の定理を適用することで

$$2d - \sum_{i=1}^k \mu_i = 2G - 2$$

を得るから

$$d = G - 1 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \mu_i \geq G - 1 + \frac{k}{2} \quad (12)$$

が成り立つ。この式から、

$$R = \frac{d}{G-1+k/2} \geq 1 \quad (13)$$

が成り立つ。ここで始めの等号は、 g の零点と極の取り方に依存していることに注意する。 M が代数的ならば必ず周期条件 (P) をみたすので、 $\mu_i \geq 2$ より $R > 1$ となる。

(11) を示す。 g の完全分岐値数の集合を $\{a_1, \dots, a_{r_0}, b_{r_0+1}, \dots, b_{r_0+l_0}\}$ とする。ここで a_i は除外値、 b_i は除外値でない完全分岐値とする。 n_0 を g の除外値における分岐指数の和とすると、

$$k \geq dr_0 - n_0 \quad (14)$$

が成り立つ． n_r を g の除外値でない完全分岐値における分岐指数の和とし， ν_i を $\nu_i = \min_{g|_{b_{r_0+i}}} \{g(z) = b_{r_0+i} \text{ の重複度} \}$ とすると，

$$dl_0 - n_r \leq \sum_{i=1}^{l_0} \frac{d}{\nu_i} \quad (15)$$

が成り立つ．そして n_1 を g の全分岐指数和とすると，Riemann-Hurwitz の定理から

$$n_1 = 2(d + G - 1) \quad (16)$$

を得る．(14), (15), (16) より，

$$\nu_g = r_0 + \sum_{i=1}^{l_0} \left(1 - \frac{1}{\nu_i}\right) \leq \frac{k + n_0}{d} + \frac{n_r}{d} \leq \frac{n_1 + k}{d} = 2 + \frac{2}{R} .$$

よって，題意が示せた．

次に (11) の等号が成り立つ場合を調べる．まず $(G, k, d) = (0, 2, 1)$ の場合， $R = \infty$ となり $2 + \frac{2}{R} = 2$ となるので $\nu_g \leq 2$ となる．よって，例 2.1 はこの場合における (11) の最良の例となる．次に $(G, k, d) = (0, 3, 2)$ の場合， $R = 4$ となり $2 + \frac{2}{R} = 2.5$ となるので $\nu_g \leq 2.5$ となる．よって，例 2.2 はこの場合における (11) の最良の例となる．そして $(G, k, d) = (0, 4, 1)$ の場合， $R = 1$ となり $2 + \frac{2}{R} = 4$ となるので $\nu_g \leq 4$ となる．よって，例 2.3 はこの場合における (11) の最良の例となる．以上より不等式 (11) は最良の評価であると考えられる．

比 R の幾何学的意味について述べる． M の普遍被覆面が単位円板 \mathbb{D} と双正則になるとき， $A_{hyp}(M)$ を Gauss 曲率が -4π の双曲計量で測った M の面積， $A_{FS}(M)$ を Gauss 曲率が 4π の Fubini-Study 計量を g で引き戻した計量で測った M の面積とすると，次の式を示すことができる．

$$R = \frac{A_{FS}(M)}{A_{hyp}(M)} = \frac{d}{G - 1 + k/2} . \quad (17)$$

但し，(11) は普遍被覆面が複素平面 \mathbb{C} のときも成り立つ．

さらに，我々はこの曲面のクラスに対して，藤本先生が論文 [4] で得た Gauss 写像の一意化定理の特別な状況における別証を得ることができた．

定理 3.4

同じ基本領域 $M = \overline{M} \setminus \{p_1, \dots, p_k\}$ をもつふたつの擬代数的極小曲面 M_1, M_2 を考える． \overline{M} の種数を G として， M_1, M_2 の Gauss 写像をそれぞれ g_1, g_2 とする． g_1, g_2 は \overline{M} から $\mathbb{P}^1(\mathbb{C})$ への写像として同じ次数 d をもつが， $g_1 \neq g_2$ と仮定する．相異なる $c_1, \dots, c_q \in \mathbb{P}^1(\mathbb{C})$ に対して， $g_1^{-1}(c_j) = g_2^{-1}(c_j)$ ， $1 \leq j \leq q$ が成り立つとすると

$$q \leq 4 + \frac{2}{R}, \quad R = \frac{d}{G - 1 + k/2} \quad (18)$$

を得る．特に $q \leq 6$ ，また代数的極小曲面については $q \leq 5$ を得る．

(証明) \sharp で点の個数を表し，

$$\delta_j = \sharp(g_1^{-1}(c_j) \cap M) = \sharp(g_2^{-1}(c_j) \cap M)$$

とおくと，定理 3.3 の証明における記号を用いて

$$qd \leq k + \sum_{j=1}^q \delta_j + n_1 \quad (19)$$

を得る． M 上の有理型関数 $\varphi = \frac{1}{g_1 - g_2}$ は $g_1^{-1}(c_j) \cap M$ の各点で極をもつが， φ の極の位数和は高々 $2d$ である．よって，

$$\sum_{j=1}^q \delta_j \leq 2d \quad (20)$$

となり，(19) と (20) から

$$qd \leq k + 2d + n_1$$

となり，

$$q \leq \frac{2d + n_1 + k}{d} = 4 + \frac{2}{R}$$

が成り立つ．

注意 3.3

論文 [4] で $q = 6$ に対する Gauss 写像の相異なるふたつの擬代数的極小曲面の例を与えている．代数的極小曲面に対して， $q \leq 5$ が最良の評価であるかどうかは未解決である．

4 今後の課題

代数的極小曲面の Gauss 写像の除外値問題の予想は上の議論では解けない．重要な点は「周期条件」が $R > 1$ の他に Gauss 写像の値分布にどのような影響を与えるかである．我々が得た結果から次のよく知られた結果を容易に導くことができる．

定理 4.1 ([8])

代数的極小曲面 $x: \overline{M} \setminus \{p_1, \dots, p_k\} \rightarrow \mathbb{R}^3$ に関して次のことが成り立つ．

1. $G = 0$ ならば $D_g \leq 2$
2. $G = 1$, $D_g = 3$ ならば，エンドはすべて埋め込みで $d = k$ が成り立ち，さらに g は M 上非分岐である．ここでエンドとは，穴あき円板と同相な曲面の一部のことで，穴に向かう円板上のすべての発散路が無限大の長さをもつときをいう．

さらに [8] では，Gauss 写像に Nevanlinna 理論を適用することで得られると思われるいくつかの結果についても述べている．また， \mathbb{R}^4 内の擬代数的極小曲面についても同様の結果を得ることができる（論文 [7] 参照）．擬代数的極小曲面以外の一般の完備極小曲面の場合にも我々の方法が有効であるかどうか，そして代数的極小曲面の除外値問題の最終的な解決は今後の大きな研究課題である．

参考文献

- [1] L. Barbosa and G. Colares, *Minimal Surfaces in \mathbb{R}^3* , Lecture Notes in Math., 1195, Springer-Verlag, 1980
- [2] H. Fujimoto, On the number of exceptional values of the Gauss map of minimal surfaces, *J. Math. Soc. Japan*, **40** (1988), 235 – 247.
- [3] H. Fujimoto, On the Gauss curvature of minimal surfaces, *J. Math. Soc. Japan*, **44** (1992), 427–439.
- [4] H. Fujimoto, Unicity theorems for the Gauss maps of complete minimal surfaces, *J. Math. Soc. Japan*, **45** (1993), 481 – 487.
- [5] A. Huber, On subharmonic functions and differential geometry in the large, *Comment. Math. Helv.*, **32** (1957), 13 – 72.

- [6] Y. Kawakami, On the totally ramified value number of the Gauss map of minimal surfaces, to appear (2006).
- [7] Y. Kawakami, On the Gauss map of a pseudo-algebraic minimal surface in \mathbb{R}^4 , in preparation.
- [8] Y. Kawakami, R. Kobayashi and R. Miyaoka, The Gauss map of pseudo-algebraic minimal surfaces, submitted, math.DG/0511543.
- [9] R. Miyaoka and K. Sato, On complete minimal surfaces whose Gauss map misses two directions, *Arch. Math.*, **63** (1994), 565–576.
- [10] R. Nevanlinna, *Analytic Function*, Springer-Verlag, 1970.
- [11] R. Osserman, Global properties of minimal surfaces in E^3 and E^n , *Ann. of Math.*, **80** (1964), 340–364.
- [12] R. Osserman, *A Survey of Minimal Surfaces*, Dover, 1986.
- [13] F. Xavier, The Gauss map of a complete non-flat minimal surface cannot omit 7 points of the sphere, *Ann. of Math.*, **113** (1981), 211–214.
Erratum, *Ann. of Math.*, **115** (1982), 667.

Yu Kawakami
Graduate School of Mathematics,
Nagoya University
Chikusa-ku, Nagoya, 464-8602/JAPAN
E-mail Address: m02008w@math.nagoya-u.ac.jp