

## 総実代数体 (特に実2次体) のゼータ関数について

岐阜大教育 畑田一幸 (Kazuyuki Hatada)

序.

$K$  を総実代数体,  $\mathcal{O}_K$  を  $K$  の整数環,  $g = [K:\mathbb{Q}]$ ,  $h_K$  を  $\mathcal{O}_K$  の類数,  $d_K$  を  $K$  の絶対判別式,  $p$  で素数を表し,  $R_p$  を  $K$  の  $p$  進 regulator,  $\zeta_K(s)$  を  $K$  の Dedekind ゼータ関数とする。  $n$  で 1 以上の有理整数を表す。ハッケ, ジーゲル, クリンゲン, 新谷等の定理によつて, (i):  $\zeta_K(1-n) \in \mathbb{Q}$  及び, (ii):  $\zeta_K(1-2n) \neq 0$  が知られている。(i)の性質は  $K$  の任意の部分ゼータ関数に対しても成立する。 $K=\mathbb{Q}$  の時, ベルヌーイ数  $\{B_n\}_{n=0}^{\infty}$  を用いて,  $\zeta_{\mathbb{Q}}(1-n) = -B_n/n$  と書ける。von Staudt の定理により,  $\text{ord}_p(\zeta_{\mathbb{Q}}(2-p)) = -1$  である。この性質は,  $p$  進及び標数  $p$  のモジュラー形式の理論において基本的である。我々は次の問題を考えたい。

問題 1.  $K$  のみに依存する正の定数  $c_K$  で次の性質  
“ ” を持つものが存在するか?

“ $c_K$  より大きなすべての素数  $p$  に対して,  $\text{ord}_p(\zeta_K(2-p)) < 0$  が成立する。”

さて,  $\zeta_K(s, 1)$  を  $\text{Re } s > 1$  において  $\sum_{\mathfrak{o}} |N_{\mathfrak{O}}^k(\mathfrak{o})|^{-s}$  (ここで  $\mathfrak{o}$  は  $(0)$  でない単項整 ideal ( $\subset \mathfrak{O}_K$ ) 全体を動くとする) で定義されるゼータ函数とする。同様に  $\zeta_K(s, 1^+)$  を  $\text{Re } s > 1$  において  $\sum_{\mathfrak{o}} |N_{\mathfrak{O}}^k(\mathfrak{o})|^{-s}$  (ここで,  $\mathfrak{o}$  は総正な元で生成される単項整 ideal ( $\subset \mathfrak{O}_K$ ) 全体を動くとする) で定義されるゼータ函数とする。我々は, 問題 1 の  $\zeta_K(s)$  を  $\zeta_K(s, 1)$  (resp.  $\zeta_K(s, 1^+)$ ) でおきかえた問題を 問題 2A (resp. 問題 2B) と呼ぶことにする。

Remark 1.  $\rho \nmid (2g)$  とせよ。すると次が成立する。

$$\text{ord}_p(\zeta_K(2-p)) = -1 \quad \text{if } \text{ord}_p(\zeta_K(2-p)) < 0.$$

よって  $\rho \nmid (2g)$  の時, 次は同値になる。

$$\text{ord}_p(\zeta_K(2-p)) < 0 \iff \rho \nmid (\zeta_K(2-p)/\zeta_{\mathbb{Q}}(2-p)).$$

Remark 2. ある  $K$  と  $p$  に対して, 問題 1 or 2A or 2B が肯定的な答を持つならば, その  $K$  と  $p$  に対して L-ポールド予想:  $R_p \neq 0$  が成立する。

問題 1, 2A, 2B を解くのは難しそうである。我々は主定理として,  $K$  が実 2 次体の場合に,  $\text{ord}_p(\zeta_K(2-p)) < 0$  なる為の criteria を与える。§1 の定理 1 を参照下さい。

この定理 1 を用いて computer によって次の結果を得た。

結果 1.  $K = \mathbb{Q}(\sqrt{5})$  とする。この時、次が成立する。

$$\text{ord}_p(\zeta_K(2-p)) = -1 \text{ for every odd prime } p \leq 533101.$$

この結果は、問題 1 が肯定的な答を持つと推測する場合の  
ひとつの根拠を与える。

異なる観点より、我々は問題 1 に関して、computer による別の実験を更に行なった。簡単にする為、実 2 次体  $K$  として  $\mathbb{Q}(\sqrt{5})$  の場合を扱う。  $\{u_n\}_{n=0}^{\infty}$  を  $u_0 = 0, u_1 = 1$  から漸化式  $u_{n+2} = u_{n+1} + u_n$  ( $n \geq 0$ ) で定義される Fibonacci 数列とする。数列  $\{\gamma_p\}_{p: \text{素数 } p \neq 5}$  を次の様に定める。

$$\begin{cases} \gamma_p = (u_{p-1} \text{ を } p^2 \text{ で割った時の余り}) \text{ if } p \equiv \pm 1 \pmod{5}, \\ \gamma_p = (u_{p+1} \text{ を } p^2 \text{ で割った時の余り}) \text{ if } p \equiv \pm 2 \pmod{5}. \end{cases}$$

次の問題を考えたい。

問題 3. 数列  $\{\gamma_p/p^2\}_{p: \text{素数}, p \neq 5}$  は区間  $[0, 1)$  で  
at random に分布しているか？

もし問題 3 が肯定的な答を持つならば、 $\text{ord}_p(\zeta_{\mathbb{Q}(\sqrt{5})}(2-p)) \geq 0$  をみたす素数  $p$  が稀ではあるが無限個存在する可能性が非常に高くなる。(Serre に依る。) それ故、我々は問題 3 について、ワイルの一樣分布定理を用いて、computer によって、分布に関する数値 data を求めた。それを見ると、問題

3の答が肯定的である可能性があり、しかもその様に感じられる。しかし、目下の所 その data からその断定するのは難しい。

我々は問題3を次の問題と比較する。

“数列  $\{(2^{p-1}-1)/p^2\}_{p:\text{奇素数}}$  は  $\mathbb{R}/\mathbb{Z}$  において at random に分布しているか？”

我々は これに関しても computer により数値 data を得た。

数列  $\{Y_p/p^2\}_{p \neq 5}$  と  $\{(2^{p-1}-1)/p^2\}_{p \neq 2}$  の  $\mathbb{R}/\mathbb{Z}$  における分布に関する我々の数値 data を Odlyzko 及び Zagier に見せた所、彼等の意見の outline は次の如し。それらの data は、 $\mathbb{R}/\mathbb{Z}$  における一様分布仮説に矛盾するものではなく、むしろ一様分布性を示唆する様に感ぜられる。しかしこの表を見てその様な断定をする事は非常に難しい事である。

この講演の詳細は、筆者の preprint [1] に書きました。

なお、Appendix として、この講演においては述べなかつた事ですが、この問題 1, 2A, 2B と 関連する我々が以前に得た結果を、一部付け加えました。

## §1. 結果と方法.

$K/\mathbb{Q}$  を任意の総実 Abel 拡大,  $g=[K:\mathbb{Q}]$ ,  $f$  を

$K/\mathbb{Q}$  の conductor,  $\mathfrak{p}$  を  $K$  の素 ideal で  $\mathfrak{p}$  をわりきるもの,  $r$  を  $\mathfrak{p}|\mathfrak{p}$  に関する residue class degree とする。  $\mu \nmid (2f)$  と仮定。 次の2つの定義 (シホポルトによる) から始める。

定義1. "Fermat quotient mod  $\mathfrak{p}$ ."  $A \in \mathcal{O}_K$  with  $(\mathfrak{p}, A) = 1$  に対して,  $Q_{\mathfrak{p}}(A) \equiv (A^{p^r} - 1)/\mathfrak{p} \pmod{\mathfrak{p}}$  を  $A$  の Fermat quotient mod  $\mathfrak{p}$  といい。 (ここで,  $(A^{p^r} - 1)/\mathfrak{p} \in \mathcal{O}_K$  である事に注意されたい。)

定義2. " $K$  の residue class regulator (mod  $\mathfrak{p}$ ):  $R^{(p)} \pmod{\mathfrak{p}}$ ."

$$R^{(p)} \pmod{\mathfrak{p}} \equiv \pm \det \left[ (Q_{\mathfrak{p}}(\sigma_i v_j))_{\substack{1 \leq i \leq g-1 \\ 1 \leq j \leq g-1}} \right] \pmod{\mathfrak{p}}.$$

ここで,  $\{v_1, v_2, \dots, v_{g-1}\}$  は  $\mathcal{O}_K^*$  の  $g-1$  の基本単数系で,  $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{g-1}\} = \text{Gal}(K/\mathbb{Q})$  とする。

まず次の結果が得られる。

命題1.  $\mu \nmid (2fg h_K)$  と仮定すると, 次は同値になる。  
 $R^{(p)} \not\equiv 0 \pmod{\mathfrak{p}} \Leftrightarrow \mu \nmid (\zeta_K(2-p)/\zeta_{\mathbb{Q}}(2-p)).$

さて,  $\hat{G}(K/\mathbb{Q})$  で  $\text{Gal}(K/\mathbb{Q})$  の dual group  $\text{Hom}(\text{Gal}(K/\mathbb{Q}), \mathbb{C}^*)$  を表す。ここでは  $\hat{G}(K/\mathbb{Q})$  の元を, conductor が  $f$  を割る様な原始的ディリクレ指標

と通常のように対応させて考える。

命題 2.  $\rho \nmid (2f)$  と仮定すると次は互いに同値になる。

$$\rho \nmid (\zeta_K(2-\rho)/\zeta_{\mathbb{Q}}(2-\rho))$$

$$\Leftrightarrow \text{G.C.D.}(\rho, B_{\rho-1, x}) = 1 \text{ for every primitive non-trivial } x \in \hat{G}(K/\mathbb{Q}).$$

$$\Leftrightarrow \text{G.C.D.}(\rho, L_{\rho}(1, x)) = 1 \text{ for every primitive non-trivial } x \in \hat{G}(K/\mathbb{Q}).$$

ここで、 $L_{\rho}(s, x)$  は  $\rho$  進  $L$  関数を、 $B_{n, x}$  は一般化されたベルヌーイ数を表すとする。

さて  $K$  を実二次体:  $K = \mathbb{Q}(\sqrt{d_K})$  で、 $\varepsilon$  を  $K$  の基本単数  $> 1$  とする。 $\varepsilon'$  で  $\varepsilon$  の  $\mathbb{Q}$  上の共役を表す。整数列  $\{y_n\}_{n=0}^{\infty}$  を  $y_n = (\varepsilon^n - \varepsilon'^n) / (\varepsilon - \varepsilon')$  で定める。これは次と同値。 $y_0 = 0, y_1 = 1$  and  $y_{n+2} = (\varepsilon + \varepsilon')y_{n+1} - \varepsilon \cdot \varepsilon' y_n$  ( $n \geq 0$ ). (Note:  $\varepsilon + \varepsilon' \in \mathbb{Z}$  and  $\varepsilon \cdot \varepsilon' = \pm 1$ ).  $m$  を任意の正の有理整数とする。次の補題を得る。

補題 1. 数列  $\{y_n \pmod{m}\}_{n=0}^{\infty}$  は最初の項から始まる循環数列である。

(よって次の定義が可能になる。)

定義 3.  $h(m) =$  数列  $\{y_n \pmod{m}\}_{n=0}^{\infty}$  の最小の循環節の長さ。

以上の記号の下で我々の得た定理は次のとおり。

定理 1.  $K = \mathbb{Q}(\sqrt{d_K})$  とする。  $p \nmid (2d_K h_K (\varepsilon - \varepsilon')^2)$  と仮定する。この時、次は互いに同値になる。

$$\text{ord}_p (\zeta_K(2-p)) < 0.$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} y_{p-1} \not\equiv 0 \pmod{p^2} & \text{if } p\mathcal{O}_K = \mathfrak{P}_1 \mathfrak{P}_2, \\ y_{p+1} \not\equiv 0 \pmod{p^2} & \text{if } p\mathcal{O}_K \text{ is prime in } \mathcal{O}_K. \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow k(p) \neq k(p^2).$$

Remark 3.  $p \nmid (2d_K (\varepsilon - \varepsilon')^2)$  ならば 次が成立する。

$$p \mid y_{p-1} \text{ if } p\mathcal{O}_K = \mathfrak{P}_1 \mathfrak{P}_2. \quad p \mid y_{p+1} \text{ if } p\mathcal{O}_K \text{ is prime in } \mathcal{O}_K.$$

特に  $K = \mathbb{Q}(\sqrt{5})$  とする。この時 数列  $\{y_n\}_{n=0}^{\infty}$  は序文で定義した Fibonacci 数列  $\{u_n\}_{n=0}^{\infty}$  になる。  $d_K = 5$ ,  $h_K = 1$ ,  $\varepsilon = (1 + \sqrt{5})/2$ . 次では  $k(m)$  で  $\{u_n \pmod{m}\}_{n=0}^{\infty}$  の最小循環節の長さを表す事とする。

定理 1 の系.  $p \neq 2$  かつ  $p \neq 5$  の時、次は互いに同値である。

$$\text{ord}_p (\zeta_{\mathbb{Q}(\sqrt{5})}(2-p)) < 0.$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} u_{p-1} \not\equiv 0 \pmod{p^2} & \text{if } p \equiv \pm 1 \pmod{5}, \\ u_{p+1} \not\equiv 0 \pmod{p^2} & \text{if } p \equiv \pm 2 \pmod{5}. \end{cases}$$

$$\iff R(p) \neq R(p^2).$$

Remark 4.  $\text{ord}_5(\zeta_{\mathbb{Q}(\sqrt{5})}(2-5)) = -1$  である。  
 名大大型計算機センターの FACOM-M-200 を約 1280 分動かして次の結果を得た。

結果 2. 任意の素数  $p \leq 533101$  に対して,

$$\begin{cases} u_{p-1} \not\equiv 0 \pmod{p^2} & \text{if } p \equiv \pm 1 \pmod{5}, \\ u_{p+1} \not\equiv 0 \pmod{p^2} & \text{if } p \equiv \pm 2 \pmod{5}. \end{cases}$$

この computer の region size は 7168 KB。我々の computer program は、そのまま変更なしで、時間と予算が許せば  $p \leq 3703674$  まで動く。

結果 1 は、定理 1 の系と結果 2 より導かれる。

## §2. Distribution of the Residues.

§1 と別の観点から問題 1 を扱う。

我々は問題 1 が肯定的答を持つ可能性があると考える。結果 1 for  $K = \mathbb{Q}(\sqrt{5})$  は、その考え方を支持する様に見える。

一方別の考え方 (Serre) がある。簡単にする為に、 $K = \mathbb{Q}(\sqrt{5})$  の場合を考える。  $x$  を正の実数とし、 $S_1(x) = \{ p \mid p \text{ は素数で, } p \neq 10, p \leq x, \text{ord}_p(\zeta_{\mathbb{Q}(\sqrt{5})}(2-p)) \geq 0 \}$



とおく。その考え方は次の様に主張する。“問題1の答は否定的であろうし、しかも  $\#S_1(x)$  は、 $\lceil \#S_1(x) \vee \log \log x \rceil$  となりうるであろう”。ここで  $\lceil \rceil$  の部分は、“ $\exists c_1 > 0$  and  $\exists c_2 > 0$  such that  $c_1 \log \log x \leq \#S_1(x) \leq c_2 \log \log x$  for all sufficiently large  $x$ ” を意味する。この考え方の根拠は、問題3が肯定的な答を持ってであろうという予想である。

それ故我々は問題3について、computerを用いて数値実験を行なった。(問題3の答が肯定的になるのか否定的になるのを知り得る事を期待して試みた。)

Remark 5. 問題3は任意の実2次体  $K = \mathbb{Q}(\sqrt{d_K})$  に対して、次の問題3'の様に一般化される。記号は §1 の通りとする。

問題3'.  $\{y_{p-1}/p^2\}_{p: \text{素数 with } (\frac{d_K}{p})=1} \cup \{y_{p+1}/p^2\}_{p: \text{素数 with } (\frac{d_K}{p})=-1}$  は、 $\mathbb{R}/\mathbb{Z}$  において、

at random に分布しているか?

我々は次の定理を用いた。

定理 (H. ワイル)  $\{x_n\}_{n=1}^{\infty}$  を任意の実数列とする。これが  $\mathbb{R}/\mathbb{Z}$  上で一様分布する条件と次は同値である。

任意の正整数  $m$  に対して、 $\lim_{N \rightarrow +\infty} N^{-1} \sum_{n=1}^N \cos(2\pi m x_n) = 0$

$\lim_{N \rightarrow +\infty} N^{-1} \sum_{n=1}^N \sin(2\pi m x_n) = 0$  が成立する。

さて整数  $m$  に対し,  $S(m, x) = (\pi(x) - 1)^{-1} \sum_{P \leq x, P \neq 5} \sin(2\pi m \gamma_P / p^2)$ ,

$C(m, x) = (\pi(x) - 1)^{-1} \sum_{P \leq x, P \neq 5} \cos(2\pi m \gamma_P / p^2)$  とおく。ここで

$\pi(x)$  は  $x$  以下の素数の個数を表す。ワイルの定理より, 次は同値となる。“問題 3 が肯定的解を持つ  $\iff$

$\lim_{x \rightarrow +\infty} S(m, x) = \lim_{x \rightarrow +\infty} C(m, x) = 0$  for every integer  $m \geq 1$ .” computer を用いて  $S(m, x)$  と

$C(m, x)$  を, 任意の  $m \in [1, 6]$  と任意の  $x \in [3, 22343]$  に対して計算した。その結果を表にまとめたが, それはここでは省略する。(その表については筆者の [1] に書きました。)

その表を見ると一見一様分布である様に,  $x$  を大きくする時  $S(m, x)$  と  $C(m, x)$  の数値が 0 に近く (0.01 位迄) なって

いく。しかし表を細かく見れば,  $\lim_{x \rightarrow +\infty} S(m, x)$  と

$\lim_{x \rightarrow +\infty} C(m, x)$  が存在するのか? そして極限值を持つならばその値は 0 なのか? 推測するのは困難である。(

$\leftarrow$  特に,  $S(3, x), C(1, x), C(2, x), C(5, x)$  と  $C(6, x)$  の値を見た場合。) しかし,  $S(m, x)$  と  $C(m, x)$  をもっと大きい数  $x$  まで計算すれば,  $S(m, x)$  と  $C(m, x)$  は  $x \rightarrow +\infty$  の時, 0 に収束する様に見えるかもしれない。且下の所,

問題3の答が肯定的か否定的か 断定するのは我々には難しい。

序文で定めた数列  $\{\gamma_p\}_p$  に対して,

$$\begin{cases} \gamma_p \equiv 5^{-1/2} (\varepsilon^{p-1} - \varepsilon^{1-p}) \pmod{p^2} & \text{if } p \equiv \pm 1 \pmod{5}, \\ \gamma_p \equiv 5^{-1/2} (\varepsilon^{p+1} - \varepsilon^{-1-p}) \pmod{p^2} & \text{if } p \equiv \pm 2 \pmod{5} \end{cases}$$

where  $\varepsilon = (1 + \sqrt{5})/2$ , が成立する事に注意すると,

$\{\gamma_p/p^2 \pmod{\mathbb{Z}}\}_{p \neq 10}$  は  $\{(2^{p-1}-1)/p^2 \pmod{\mathbb{Z}}\}_{p \neq 2}$  と似

ている事がわかる。よって問題3の類似として次の問題4を考える価値があると思われる。

問題4.  $\{(2^{p-1}-1)/p^2 \pmod{\mathbb{Z}}\}_{p \neq 2}$  は,  $\mathbb{R}/\mathbb{Z}$  上で at random に分布しているか?

この数列についても  $S(m, x) = (\pi(x)-1)^{-1} \sum_{p \leq x, p \neq 2} \sin(2\pi m (2^{p-1}-1)/p^2)$  と  $C(m, x) = (\pi(x)-1)^{-1} \sum_{p \leq x, p \neq 2} \cos(2\pi m (2^{p-1}-1)/p^2)$  を任意の  $m \in [1, 6]$  と 任意の  $x \in [3, 27197]$  に対して, Computer で計算して表を作った。(その表はここでは省略します。筆者の [1] に書きました。) その表の数値は,  $\{\gamma_p/p^2\}_{p \neq 5}$  の場合の  $S(m, x)$  と  $C(m, x)$  とよく似ており, 類似の特性を持っていると思われる。

$K = \mathbb{Q}(\sqrt{5})$  に対する問題1は, Open である。

問題5. 集合  $\{p \mid \text{素数}, p^2 \mid (2^{p-1}-1)\}$  は有限集合か?

と類似の問題と考えられる。D.H. Lehmer によつて,

$p \leq 6 \times 10^9$  の範囲で,  $p^2 | (2^{p-1} - 1)$  をみたす素数  $p$  は 1093 と 3511 のみである事が調べられている。

問題3の答が肯定的か否定的かを問わず, 結果2をもっと大きな数迄計算するのは意義がある。もしこの時,

$\text{ord}_2(\zeta_{2005})(2-81) \geq 0$  をみたす素数  $p$  がみつければ"おもしろい。それを実行する時, 問題5を大きな数迄検証する時と, 同じ type の計算上の困難さがある。

Remark 6. 問題3と問題4について, 我々の数値 data ( $S(m, x)$  と  $C(m, x)$  に関する) から, どう判定すべきか, Odlyzko と Zagier に聞いた。

◎Zagierの意見の概略。我々の data は randomness を示す程充分に速く0に近付いていく様だ。(この事を表から直接判断するのは困難だけれども。) 一方 問題3と4に, 証明を与える事は非常に難しいであろう。

◎Odlyzkoの意見の概略。我々の data は, 分布が at random であるという仮説と矛盾していない。(n個の, -1と+1の間に値をとる random number が与えられた時, その和の期待値は  $\sqrt{n}$  の order である。我々の data はこれに矛盾しない。)

Odlyzko は,  $\{(2^{p-1}-1)/p^2\}_{p \neq 2}$  の  $\mathbb{R}/\mathbb{Z}$  における分布について別の計算を試みた。即, 任意の  $k \in [1, 100]$  に対して次の数  $a_k$  を計算した。  $a_k = \# \{p \mid p \text{ は素数,}$

$3 \leq p \leq 500000$ ,  $\frac{p-1}{100} \cong \frac{2^{p-1}-1}{p^2}$  の小数部分  $\neq \frac{p}{100}$  }.

その表はここでは省略する。(cf. 筆者の[1]) その表を一見すると  $\{(2^{p-1}-1)/p^2\}_{p \neq 2}$  の分布は random の様に見える。しかしそれを確実に主張するにはもっと大きな数値まで、計算する必要がありそうである。というのは、問題3と4の答が否定的かもしれないという弱い徴候があるから。それは次の様な推理である。Odlyzko は上記の  $\{a_n\}_{n=1}^{100}$  の分散を計算した。

$$\sum_{n=1}^{100} a_n = 41537.$$

$$\sum_{n=1}^{100} (a_n - 415.37)^2 = 5.23 \times 10^4.$$

さて  $A$  個の球を  $B$  個の箱に at random に入れる時、分散の期待値は  $A(B-1)/B$  である。今の場合、 $A=41537$  で  $B=100$  であるから、 $4.11 \times 10^4$  である。

5.2 という数値は、4.1 より「非常に大」ではないけれども、少し大きい様に感じられる。よって問題3と4については、更に考察せねば答が肯定的になるか否定的になるか 断定する事は困難である。

## APPENDIX.

総実代数体  $K$  の Dedekindゼータ函数  $\zeta_K(s)$  の  $s=1-n$  ( $n \geq 1$  有理整数) における値に関する (2以前 (1979~1980年) 得た結果

(in Hatada [2]) ですが, 上述の事と関連しますので, ここに一部分の結果だけですが, 記そうと思います。

$K$ : 総実代数体,  $\mathcal{O}_K$ :  $K$  の整数環,  $\mathfrak{f} = [K:\mathbb{Q}]$ ,  $I_K$ :  $K$  の non-zero な分母イデアル全体の作る乗法群,  $P_K^+ = \{(\alpha) \in I_K \mid \alpha \text{ は } K \text{ の総正な元}\}$ ,  $C_K^+ = I_K / P_K^+$ ,  $h_K^+ = \# C_K^+$ .  $\{\mathfrak{L}(1), \mathfrak{L}(2), \dots, \mathfrak{L}(h_K^+)\}$  を  $K$  の整イデアルで  $C_K^+$  の代表系とする。

$M_{\mathbb{R}}(K, SL_2(\mathcal{O}_K), \mathbb{C}) = \prod_{t=1}^{h_K^+} M_{\mathbb{R}}(\mathfrak{L}(t), SL_2(\mathcal{O}_K), \mathbb{C})$  を Hilbert modular vector forms of weight  $k$  の空間 (cf. Hermann [3]) とする。  $\{T_{\mathbb{R}}'(\mathfrak{p})\}_{\mathfrak{p}: \text{素イデアル in } K}$  を  $M_{\mathbb{R}}(K, SL_2(\mathcal{O}_K), \mathbb{C})$  に作用する  $\wedge$  の作用素とする。

$\mu$  で任意奇素数を表す。今,  $k = \mu - 1$  とおく。この時,

$\{f_1, f_2, \dots, f_{\mu-1}\} \subset M_{\mu-1}(K, SL_2(\mathcal{O}_K), \mathbb{C})$  を  $\wedge$  の作用素の同時固有 vector form の全体とする。今,

$\{\lambda_{\mathfrak{p}, y}\}_{\mathfrak{p}: \text{素イデアル in } K}$  で,  $\mathbb{C}f_y$  に作用する  $\{T_{\mu-1}'(\mathfrak{p})\}_{\mathfrak{p}: \text{素イデアル in } K}$  の固有値の system を表すとする。特に  $f_1$  として,

$(\lambda_{\mathfrak{p}, 1} = 1 + N_{\mathbb{Q}}^K(\mathfrak{p})^{\mu-2} \text{ for every 素イデアル } \mathfrak{p} \text{ in } \mathcal{O}_K)$  となる

Eisenstein vector form を表す。  $\zeta_K(s)$  で 通常  $K$  の

Dedekind  $\zeta$ -function を表す。ここでは,  $\beta$  で, 素イデアル  $\mu\mathbb{Z}$  の  $\mathbb{Q}$  へのひとつの延長を表すとする。

この時, 次の成立する。

定理 (Theorem 1' in Hatada [2]). 体  $K$  のみに依存する正の数  $m_K$  で次の性質を持つものが存在する。

『 $p > m_K$  とせよ。もし,  $M_{p-1}(K, SL_2(\mathcal{O}_K), \mathbb{C})$  において, 任意の整数  $y \in [2, \gamma_{p-1}]$  に対して,

$$\lambda_{\mathfrak{o}_y, y} \not\equiv 1 + N_{\mathbb{Q}}^K(\mathfrak{o}_y)^{p-2} \pmod{\mathfrak{p}}$$

をみたす素イデアル  $\mathfrak{o}_y$  in  $\mathcal{O}_K$  が存在するならば,

$$\text{ord}_p(\zeta_K(1-n)) = -1 \text{ for every 整数 } n > 0 \text{ with}$$

$$n \equiv 0 \pmod{p-1},$$

が成立する。』

## References

- [1] K. HATADA: On values at negative integers of zeta functions of real quadratic fields. (preprint, 1983年(first version), 1984年(second version)).
- [2] K. HATADA: A note on the denominators of values at negative integers of zeta functions

over totally real algebraic number fields.  
(1979年~1980年) (unpublished manuscript).

- [3] O. HERMANN: Über Hilbertsche  
Modulfunktionen und die Dirichletschen  
Reihen mit Eulerschen Productentwicklung.  
Math. Ann. 127, 357-400 (1954).