

ガロア体の整数基について

東大 教養 黒田 成信

§0. A を Dedekind 環, K をその商体とし, L/K は有限次の分離的拡大体とし, $n = [L:K]$ とおく. B を L に於ける A の整閉とする. そのとき B は Dedekind 環であり, A -加群として, n -個の A -ideal の直和と同型である. もし B の n 個の元 ω_ν ($1 \leq \nu \leq n$) が存在し

$$B = A\omega_1 + A\omega_2 + \cdots + A\omega_n$$

となるとき, L/K は整数基をもつということにしよう. このとき, 上の和は直和となる.

$L = K(\theta)$ とし, θ の L/K に関する判別式を $d(\theta)$, B/A の判別式を $\mathfrak{D}(L/K)$ で表わそう. そのとき $\mathfrak{D}(L/K) = d(\theta) \cdot \mathfrak{a}^{-2}$ となる. ここで, $\theta \in B$ に取ってあれば, \mathfrak{a} は A -ideal である.

§1. 記号は上記の通りとする. Artin [1] によれば次が成立する:

L/K が整数基をもつ $\iff \theta$ は A の *principal ideal*.

この必要十分条件は少しく変形すれば次のようになる:

$$L/K \text{ が整数基をもつ } \iff \exists \delta \in A, \mathfrak{g}(L/K) = (\delta) \text{ かつ } K(\sqrt{d(\theta)}) \\ = K(\sqrt{\delta}).$$

しかし、体の拡大 L/K は必ずしも初めから生成元 θ により $L=K(\theta)$ の形に与えられているものとも限らない。例えば、ある Abel 体が類体として定義されている場合である。以下に於て我々は L/K が Galois 拡大のときに限ることにより、 L/K が整数基をもつための必要十分条件を、生成元 θ に関係しない形で与える。更に、それを後に引用する Fröhlich による判定条件と比較することにより、定式化に於て整数基の存否と関係しない算術的命題を得る(定理3)。

§2. 有限群 G の位数を割る最小の素数を p とする。もし G の p -Sylow 群 S が巡回群であれば、 G の元で位数が p と素なもの全体は G の正規部分群 N をなし、 G は N の S による半直積となる (Burnside)。従って Galois 拡大 L/K の Galois 群の 2-Sylow 群が巡回群で単位群とは異なるとき、 L/K は丁度一

の次数2の部分体を含むこととなる。

我々の考察に於て、 K の標数が2のときの方が、そうでないときより、結果は簡単になるので、以下 K の標数は2でないとし、この仮定を繰返して述べることは省略する。

定理1. L/K はGalois拡大とし、 S をそのGalois群の2-Sylow群とする。

I. $S = E =$ 単位群のとき:

L/K が整数基をもつ $\Leftrightarrow \exists \delta \in A, \mathcal{O}(L/K) = (\delta^2)$.

II. S 巡回群, $\neq E$ のとき:

L/K が整数基をもつ $\Leftrightarrow \exists \delta \in A, \mathcal{O}(L/K) = (\delta)$ かつ

$K(\sqrt{\delta})/K$ は L/K に含まれる
次数2の拡大となる。

III. S 非巡回群のとき:

L/K が整数基をもつ $\Leftrightarrow \exists \delta \in A, \mathcal{O}(L/K) = (\delta^2)$.

後での引用の便宜上次の系を定式化する。

系. L/K は2べき次の巡回拡大で、 A の素イデアルはすべて L/K で不分岐とする。そのとき次が成立する。

L/K が整数基をもつ $\Leftrightarrow \exists \varepsilon \in A$ の単数, $L \supset K(\sqrt{\varepsilon}) \not\supset K$.

上の定理に於て L/K の次数が2のときは, Mann [6] の判定条件である.

定理1を証明するには, $L = K(\theta)$, $\tilde{\theta}^{(v)} = (1, \theta^{\sigma_v}, \dots, (\theta^{n-1})^{\sigma_v})$, $\sigma_v \in \text{Gal}(L/K)$ とおくとき, $\text{Gal}(L/K)$ が集合

$$\{\tilde{\theta}^{(1)}, \tilde{\theta}^{(2)}, \dots, \tilde{\theta}^{(n)}\}, \quad n = [L:K],$$

の上の transitive regular permutation group であることと, $d(\theta)$ の定義および $\{\text{sgn } \sigma \mid \sigma \in \text{Gal}(L/K)\}$ が定理の中の I, II, III に対応してそれぞれ $\{1\}$, $\{\pm 1\}$, $\{1\}$ であることに注意して, §1 の判定条件に帰着させるのである.

§3. 以下 K は有限次代数体, A は K の全整数環とする (K が有限体を定数体とする一変代数函数体の場合でもよい).

K のイデール群, 主イデール群, 単イデール群をそれぞれ J_K , P_K , U_K で表わす. 次数有限の拡大体 L/K のイデール論的判別式 (局所的判別式の積) を今仮に $\bar{D}(L/K)$ で表わす. $\bar{D}(L/K)$ は $\text{mod. } U_K^2$ で定まり $P_K J_K^2$ に属する. $\bar{D}(L/K)$ に対応するイデールはもちろん $D(L/K)$ であり, 又, イデール論的判別式の場合と同じ形の連鎖律などが成立する. さて

$$L/K \text{ が整数基をもつ} \iff \bar{D}(L/K) \in P_K U_K^2$$

が成立する. 以上は Fröhlich [3], [4], [5] などよりの部分的引用である.

§4. K は §3 の通りとし, 以下次の仮定と記号を設定する.

L/K : K のすべての素点で不分岐な 2 べき次の巡回拡大, $[L:K] = 2^m$.

$L = K_m \supset K_{m-1} \supset \cdots \supset K_0 = K$, $[K_\mu:K_0] = 2^\mu$.

§2 の系によれば, K_m/K_0 が整数基をもつことと, K_1/K_0 が整数基をもつことは同値であるが, 今上の仮定のもとで次が成立する.

定理 2. K_m/K_0 が整数基をもつ $\Leftrightarrow \forall \mu, \mu', m \geq \mu \geq \mu' \geq 0$,
 $K_\mu/K_{\mu'}$ が整数基をもつ.

証明は, $P_K J_K^2 \cap P_K U_K = P_K U_K^2$ や L/K の不分岐性などを利用して, §3 で引用した Fröhlich の判定条件に帰着させるのである. (Hasse のノルム定理や, 上のような $K_\mu/K_{\mu'}$ では $K_{\mu'}$ の単数は K_μ の数のノルムとなることなどを使う).

再び, §2 の系を用いて, 次を得る.

定理3. $\exists \varepsilon_0, K_0$ の単数, $K_1 = K_0(\sqrt{\varepsilon_0})$

$\iff \forall \mu, m > \mu \geq 0, \exists \varepsilon_\mu, K_\mu$ の単数, $K_{\mu+1} = K_\mu(\sqrt{\varepsilon_\mu})$.

K_0 が 1 の原始 4 乗根を含むときには, 定理 3 の主張は文献 Cohn and Cooke [2] の中にある. そこでは Kummer 論と類体論の両方を用いて証明している.

文 献

- [1] E. Artin, *Question de base minimale dans la théorie des nombres algébriques*, 全集 229-231.
- [2] H. Cohn and Cooke, G., *Parametric form of an eight class field*, *Acta Arith.*, 30(1976), 367-377.
- [3] A. Fröhlich, *Discriminants of algebraic number fields*, *Math. Zeitschr.* 74(1950), 18-28.
- [4] ———, *Ideals in an extension field . . .*, *Math. Zeitschr.* 74(1960), 29-38.
- [5] ———, *The discriminants of relative extensions and the existence of integral basis*, *Mathematika* 7(1960), 15-22.
- [6] H. B. Mann, *On integral bases*, *Proc. Amer. Math. Soc.*, 9(1958), 167-173.