

セゲー核の積による積分変換といくつかの関連した 問題について

群馬大学工学部 斎藤三郎

1. 序 論

G を平面上の N 重連結 bounded regular region, $\{C_\nu\}_{\nu=1}^N$ を境界成分, $H_2(G)$ を G 上の analytic な Hardy 族とす。 $H_2^{\frac{1}{2}}(G)$ を関数族 $H_2(G)$ からなり, 内積

$$(f(z), h(z)) = \int_{\partial G} f(z) \overline{h(z)} |dz|$$

を有する Hilbert 空間; すなわちセゲー空間とする。この空間における再生核を $\hat{K}(z, \bar{u})$ とおく; すなわち,

$$f(u) = \int_{\partial G} f(z) \overline{\hat{K}(z, \bar{u})} |dz| \quad \text{for all } f \in H_2^{\frac{1}{2}}(G).$$

セゲー核 $\hat{K}(z, \bar{u})$ は u を固定 ($u \in G$) したとき z の関数として $\bar{G} = G \cup \partial G$ 上解析的であることが知られている。

$\hat{L}(z, u)$ をセゲー核に対する adjoint L -核とすれば, $\hat{L}(z, u)$ は $\bar{G} - \{u\}$ 上解析的で, u で留数 $1/2\pi$ の simple

pole をもち, 次の重要な関係式を満たす:

$$\overline{\hat{K}(z, \bar{u})} |dz| = \frac{1}{i} \hat{L}(z, u) dz \text{ along } \partial G.$$

L -核はさき次の極値問題の解として特徴付けられる:

$$\begin{aligned} \hat{K}(u, \bar{u}) &= \int_{\partial G} |\hat{L}(z, u)|^2 |dz| \\ &= \min_{\{h(z, u)\}} \int_{\partial G} |h(z, u)|^2 |dz|. \end{aligned}$$

ただし, $\min$ は $\hat{L}(z, u)$ と同じ特異性をもち, $L_2(\partial G)$ 族に入る境界値をもつ meromorphic な関数族全体に対して考えられる. cf. [6].

ここでの目的のためにテンソル積 $H = H^{\frac{1}{2}}_2(G) \otimes H^{\frac{1}{2}}_2(G)$ を考える. $H^{\frac{1}{2}}_2(G)$ の $\bar{G}$ 上 analytic な complete orthonormal system $\{\Phi_j(z)\}_{j=1}^{\infty}$ をとる. このとき, H の元は $G \times G$ 上 analytic な

$$f(z_1, z_2) = \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} A_{j,k} \Phi_j(z_1) \Phi_k(z_2)$$

$$\sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} |A_{j,k}|^2 < \infty$$

なる関数 $f(z_1, z_2)$ からなり, H は内積

$$(f, h)_H = \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} A_{j,k} \overline{B_{j,k}} \Phi_j(z_1) \overline{\Phi_k(z_2)}$$

のもとで Hilbert 空間となる, cf. [1].

ここでの中心的な問題は $f \in L_p(\partial G)$ ($p > 1$) に対し
 f のセゲー核の 2 つの積による積分変換

$$F_f(z_1, z_2) = \int_{\partial G} f(z) \overline{K(z, \bar{z}_1) K(z, \bar{z}_2)} dz$$

を考え, H 上の性質を論ずることである. この積分はセゲー核が order $\frac{1}{2}$ の differential であるから conformally invariant な形になってくることに注意しよう.

この問題の 1 つの副産物として, 有限 Dirichlet 積分をもつ G 上の解析関数 $h(z)$ に対して次の等式が得られる:

$$\begin{aligned} (1.1) \quad & \frac{1}{\pi} \iint_G |h'(z)|^2 dx dy \\ &= \int_{\partial G} \int_{\partial G} |(h(z_1) - h(z_2)) \hat{\zeta}(z_1, z_2)|^2 |dz_1| |dz_2|, \end{aligned}$$

さらに $G \times G$ 上の 2 変数関数 $\hat{\zeta}(z_1, z_2)$ は任意の非定数 $h(z)$ に対して $G \times G$ 上のある meromorphic functions の族のうちで上記の等式を成立させる関数として完全に特徴付けられることが証明される.

ここでの結果は Riemann 面上のセゲー型核や characteristics

をもつ(多価)セゲー核に対しても成立する[17]が, 本質的な所を述べるためにセゲー核の場合に限っておく.

2. 準備

$W(z, t)$ を $t \in G$ に極をもつグリーン関数 $g(z, t)$ を実部にもつ meromorphic function とする. このとき, differential $idW(z, t)$ は ∂G に沿って正である. $W(z, t)$ の零点を $\{t_\nu\}_{\nu=1}^{N-1}$ とし, これらはすべて simple とする. そうでない場合には簡単な修正を必要とするにすぎない. 任意の実数 p と実数 p ($p \geq 1$) に対して $H_p^g(G)$ を有限 norm

$$\left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{\partial G} |f(z)|^p \left(\frac{\partial g(z, t)}{\partial \nu} \right)^{1-p} |dz| \right\}^{\frac{1}{p}} < \infty$$

をもつ G 上の解析関数 $f(z)$ からなる Banach 空間とする. ここで, $f(z)$ ($z \in \partial G$) はファトゥの境界値を意味し, $\partial/\partial \nu$ は内法線微分を表わすものとする. Hilbert 空間 $H_2^g(G)$ における再生核を $K_{g,t}(z, \bar{u})$ で表わす; すなわち,

$$\begin{aligned} f(u) &= \frac{1}{2\pi} \int_{\partial G} f(z) \overline{K_{g,t}(z, \bar{u})} \left(\frac{\partial g(z, t)}{\partial \nu} \right)^{1-2g} |dz| \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{\partial G} f(z) (dz)^g \overline{K_{g,t}(z, \bar{u})} (d\bar{z})^g [idW(z, t)]^{1-2g} \end{aligned}$$

for all $f(z) \in H_2^0(\mathcal{G})$.

$L_{g,t}(z, u)$ を $K_{g,t}(z, \bar{u})$ に対する adjoint L-核とすれば, これは u で留数 1 の simple pole をもつ以外は $\bar{\mathcal{G}}$ 上解析的で, 次の基本的な関係式を満たす:

$$(2.1) \quad \overline{K_{g,t}(z, \bar{u})(dz)^2 [i dw(z, t)]^{1-2g}} \\ = \frac{1}{i} L_{g,t}(z, u)(dz)^{1-g} \text{ along } \partial \mathcal{G}.$$

さらに次の関係式を満たす: $K_{g,t}(z, \bar{u}) = \overline{K_{g,t}(u, \bar{z})}$, $L_{g,t}(z, u) = -L_{1-g,t}(u, z)$. もちろん, $\mathcal{K}(z, \bar{u}) = K_{1/2,t}(z, \bar{u})/2\pi$, $\mathcal{L}(z, u) = L_{1/2,t}(z, u)/2\pi$ である. cf. [12, 13]

つぎに, $f \in L_p(\partial \mathcal{G})$ ($p > 1$) に対して次の分解が成立する (cf. [7, p. 81]) ことに注意しておく:

$$f(z) = h_1(z) \oplus \overline{\left(\frac{h_2(z) dz}{i dw(z, t)} \right)} \text{ on } \partial \mathcal{G},$$

$$h_1(z) \in H_p^0(\mathcal{G}), \quad h_2(z) \in H_p^1(\mathcal{G}).$$

ここで, $h_1(z)$ は f の $H_p^0(\mathcal{G})$ 上への projection になっている. したがって問題にしてゐる積分変換 $F_g(z_1, z_2)$ は次のように変形される:

$$(2.2) \quad F_f(z_1, z_2) = \int_{\partial G} h_1(z) \overline{\hat{K}(z, \bar{z}_1)} \hat{K}(z, \bar{z}_2) dz \\ + 2\pi \sum_{\nu=1}^{N-1} \left(\frac{h_2(t_\nu)}{w''(t_\nu, t)} \right) \overline{\hat{K}(z_1, \bar{t}_\nu)} \hat{K}(z_2, \bar{t}_\nu).$$

後で分かるように我々の問題に関して第2項は無視される.

$[H]_{D(\omega)}$ を $G \times G$ の対角線集合 D に沿って零となる H の部分空間とし, $([H]_{D(\omega)})^\perp$ をその H における直交補空間とする. 部分空間 $[H]_{D(\omega)}$ の構造については [1] を参照. 次の2つの結果をここでの出発点としよう: (cf. [15]).

定理 A. 任意の $f(z_1, z_2) \in H$ に対して, 次の不等式が成立する:

$$(2.3) \quad \frac{1}{\pi} \iint_G |f(z, z)|^2 dx dy \\ \leq \min \left\{ \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2\pi} \int_{\partial G} \varphi_j(z_1) \overline{\varphi_k(z_1)} |dz_1| \right. \\ \left. \times \frac{1}{2\pi} \int_{\partial G} \varphi_j(z_2) \overline{\varphi_k(z_2)} |dz_2| \right\}.$$

ここで, $\min$ は D に沿って $f(z, z) = \sum_{j=1}^{\infty} \varphi_j(z) \overline{\varphi_j(z)}$ を満たす $G \times G$ のすべての関数 $\sum_{j=1}^{\infty} \varphi_j(z_1) \overline{\varphi_j(z_2)}$ [$\varphi_j, \overline{\varphi_j} \in$

$H_2^{\frac{1}{2}}(\mathcal{G})]$ に対して考えられるものとする.

定理 B. $f(z_1, z_2) \in H$ に対して, 等式

$$\begin{aligned} & \|f(z_1, z_2)\|_H^2 \\ &= \min \left\{ \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2\pi} \int_{\partial\mathcal{G}} \varphi_j(z_1) \overline{\varphi_k(z_1)} |dz_1| \right. \\ & \quad \left. \times \frac{1}{2\pi} \int_{\partial\mathcal{G}} \varphi_j(z_2) \overline{\varphi_k(z_2)} |dz_2| \right\} \end{aligned}$$

が成立する必要十分条件は $f(z_1, z_2)$ が $([H]_{D(0)})^{\perp}$ に属することである. ここで, $\min$ は定理 A におけると同様に考えられる. (以下同様).

さらに, $f(z_1, z_2)$ が z_1 の関数と z_2 の関数の積と表わされ, かつ $([H]_{D(0)})^{\perp}$ に属するための必要十分条件は, $f(z_1, z_2)$ が適当な $u \in \mathcal{G}$ と定数 C で $C \mathcal{K}(z_1, u) \mathcal{K}(z_2, u)$ の形に表わされることである.

3. 主要結果.

まず次の定理を得る:

定理 3.1. $\varphi(z) \in L_p(\partial\mathcal{G})$ [$p > 1$] に対して, 積分

変換

$$F_f(z_1, z_2) = \int_{\partial G} f(z) \overline{K(z, \bar{z}_1)} K(z, \bar{z}_2) dz$$

が H に属するための必要十分条件は $f(z)$ の $H_p^0(G)$ 上への projection $h_1(z)$ が有限の Dirichlet 積分を有することである。

必要性の証明は定理 A と式 (2.2) による。このとき、 $\hat{f}(z, u)^2$ が留数をもたない ([2, p. 118], [6]) という事実が重要な役割を果たす。十分性は、 $K(z_1, \bar{z}_0) K(z_2, \bar{z}_0) \in H$ であるから

$$F_f''(z_1, z_2) = \int_{\partial G} h_1(z) \overline{K(z, \bar{z}_1)} K(z, \bar{z}_2) dz \in H$$

を示せばよいことに注意する。パーセバルの等式を用いてそれを示すために

$$\sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_{\partial G} h_1(z) \overline{\Phi_j(z)} \Phi_k(z) dz \right|^2 < \infty$$

を示す。それは上記の積分を面積分に直してラレダウの定理と定理 A を用いて証明される。このときさらに、 $h_1(z)$ が有限の Dirichlet 積分をもてば $h_1(z)$ は $H_2^0(G)$ に属すると

う事実 ([1, p. 178], [5, p. 106]) を用いる.

この定理において, 境界 ∂G 上の問題が種類の異なった Dirichlet 積分有限という概念に移り付いたことに特に注目しよう.

系 3.1. G 上の任意の解析関数 $h(z)$ に対し

$$h(z) \in H_2^0(G) \text{ かつ } \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_{\partial G} h(z) \overline{\Phi_j(z)} \Phi_k(z) dz \right|^2 < \infty$$

であるための必要十分条件は $h(z)$ が有限 Dirichlet 積分をもつことである.

系 3.2. $F_p(z_1, z_2)$ が H に属するとき, $F_p(z_1, z_2)$ は同時に $([H]_{D(0)})^\perp$ に属する.

一般に $\hat{K}(z_1, \bar{u}) \hat{K}(z_2, \bar{u})$ [$u \in G$] は $([H]_{D(0)})^\perp$ に属することに注意する. 証明は定理 A による.

4. $([H]_{D(0)})^\perp$ の積分表示.

定理 4.1. 任意の $f(z_1, z_2) \in ([H]_{D(0)})^\perp$ は唯一に定まる $h(z) \in H_2^0(G)$ によって次の積分に表わされる:

$$f(z, z_2) = \frac{1}{2\pi} \int_{\partial G} \frac{h(z) dz \overline{\hat{R}(z, \bar{z}_1) \hat{R}(z, \bar{z}_2) dz}}{i dW(z, t)}$$

さうに $h(z)$ は次のように $f(z, z)$ で表わされる:

$$h(z) = -w'(z, t) \left[\int_t^z \left(\sum_{\nu=1}^{N-1} X_\nu(f) \hat{\Gamma}(z, t_\nu)^2 + f(z, z) \right) dz \right].$$

ここで, 定数 $X_\nu(f)$ は次の方程式の解として定められる:

$$\sum_{\nu=1}^{N-1} X_\nu(f) \int_{C_\mu} \hat{\Gamma}(z, t_\nu) dz = - \int_{C_\mu} f(z, z) dz,$$

$$\mu = 1, 2, \dots, N-1.$$

$\{X_\nu(f)\}$ が定まることは, 行列

$$\left\| \int_{C_\mu} \hat{\Gamma}(z, t_\nu) dz \right\|$$

の正則性 ([13], [14]) による. $h(z)$ の一意性は, $\{\hat{R}(z, \bar{w})^2 \mid w \in G\}$ の $H_2'(G)$ における完全性 [14, 定理 5.1] による.

この定理において, 純粋なセゲ-核関数の理論に自然な形

で、ルテン核や共役ルテン核の理論 [12, 13, 14] が結合した事実に注意した。

系 4.1. $f(z_1, z_2) \in ([H]_{D(0)})^\perp$; すなわち,

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\partial G} \frac{h(z) dz \overline{\hat{K}(z, \bar{z}_1) \hat{K}(z, \bar{z}_2)} d\bar{z}}{i dw(z, t)}$$

が z_1 の関数と z_2 の関数の積になるための必要十分条件は、 $h(z)$ が適当な $u \in G$ と定数 C によって $CK_{1,t}(z, \bar{u})$ と表わされることである。

証明には定理 B の後半が用いられる。

この定理は核関数の族 $\{CK_{1,t}(z, \bar{u}) \mid u \in G\}$ に対する新しい特徴付けを与える。cf. [18]。

系 4.2. Bergman norm 有限な G 上の任意の解析関数 $f(z)$ に対して G 上 $F(z, z) = f(z)$ となる H の関数で $\|F(z_1, z_2)\|_H$ を最小にする極値関数は唯一存在し、それは $([H]_{D(0)})^\perp$ に属する。

さらに極値関数は定理 4.1 におけるように $f(z, z)$ を $f(z)$ と置き換えた形に表わされる。

系 4.3. 関数 $f(z_1, z_2) \in H$ に対して, 不等式(2.3)において 2つの等号が同時に起きる; すなわち,

$$\begin{aligned} \frac{1}{\pi} \iint_G |f(z, z)|^2 dx dy \\ = \|f(z_1, z_2)\|_H^2 \end{aligned}$$

であるための必要十分条件は $f(z_1, z_2)$ が

$$2\pi \hat{c}(z_1, z_2) [F(z_1) - F(z_2)]$$

と表わされることである. ここに, $F(z)$ は $f(z, z)$ の原始関数である.

不等式(2.3)において前半の等号が成立する必要十分条件は $f(z, z) dz$ が exact であること [16] と定理 4.1 の表現を用いてこの系は得られる. これからまた $\hat{c}(z_1, z_2)$ の 2変数関数としての特徴付けが直ちに得られる.

次の知られてゐる事実 (cf. [4], [20]) の別証も簡単に得られる:

系 4.4. G 上の解析関数 $h(z)$ が有限の Dirichlet 積分をもつ必要十分条件は $(h(z_1) - h(z_2))/(z_1 - z_2)$ が H に

属することである。

証明は $\hat{\omega}(z, u) = \hat{\omega}(z, u) - 1/2\pi(z-u)$ の $\overline{G} \times \overline{G}$ 上の解析性 [19] と $f(z_1, z_2) \in H$ であるための必要十分条件は

$$\int_{\partial G} \int_{\partial G} |f(z_1, z_2)|^2 |dz_1| |dz_2| < \infty$$

であること (cf. [3]) を用いて等式 (4.1) を用いればよい。

5. 問題

以下, ここで論じたことに関連してゐる問題をいくつかまとめよう。

問題 1. 単位円 D 上の有限 Dirichlet 積分をもつ調和関数に対して Douglas [4] は次の不等式を示してゐる:

$$\begin{aligned} & \iint_D (u_x^2 + u_y^2) dx dy \\ &= \frac{1}{8\pi} \int_{\partial D} \int_{\partial D} \left| \frac{u(z_1) - u(z_2)}{z_1 - z_2} \right|^2 |dz_1| |dz_2| \end{aligned}$$

この等式は (1.1) と非常に似てゐるが, 一般の regular region に対してこの型の等式が成立するのであるうか。ある

II は両辺の大小関係があるであろうか、単位円の場合であら
 $1/(z_1 - z_2)$ の核関数の理論による意味づけは与えられ
 て II だが、何かあるのだろうか。—— この等式自身はも
 ちろん我々の結果 (1.1) から直ちに得られる。

問題 2.

$$(i) \quad F_f(z_1, z_2, z_3) = \int_{\mathbb{D}} f(z) \overline{\hat{K}(z, \bar{z}_1) \hat{K}(z, \bar{z}_2) \hat{K}(z, \bar{z}_3)} dz$$

$$\in H^{\frac{1}{2}}(\mathbb{D}) \otimes H^{\frac{1}{2}}(\mathbb{D}) \otimes H^{\frac{1}{2}}(\mathbb{D})$$

となる f の条件は何か。3つの積以外にも一般にこの型の
 問題が考えられる。

(ii) $\mathbb{D}$ 上の Bergman 核 $K(z, \bar{u})$ と Bergman space $B(\mathbb{D})$
 (cf. [2]) に対して

$$F_f(z_1, z_2) = \iint_{\mathbb{D}} f(z) \overline{K(z, \bar{z}_1) K(z, \bar{z}_2)} dx dy$$

$$\in B(\mathbb{D}) \otimes B(\mathbb{D})$$

となるための f の条件は何か、また、^(数)多変関数の場合も含
 めていろいろな再生核についても同様の問題が考えられる。

しかし、 G 上の重さのついたセゲー核 $\hat{K}_f(z, \bar{u})$ (cf. [9], [10]) に対して

$$(iii) \quad \Pi_f(z_1, z_2) = \int_{\partial G} f(z) \overline{\hat{K}_{f_1}(z, \bar{z}_1) \hat{K}_{f_2}(z, \bar{z}_2)} dz \\ \in H_2^{\frac{1}{2}}(G) \otimes H_2^{\frac{1}{2}}(G)$$

となるための $f(z)$ の条件を求めことは特に興味あることに思われる。特に系 3.2 が一般に成立するか否かが興味深い点となる。—— 単連結の場合にはこれは実験可能である。また、 $f_1(z) f_2(z)$ が ∂G 上定数である場合には解決している [17]。

問題 3. adjoint L -核の 2 変数関数としての特徴付けが、セゲー核以外の場合にも存在するか。特に Bergman 核の場合どうか。

問題 4. 定理 A は $f(z, z_2) \in H_2^{\frac{1}{2}}(G) \otimes H_2^{\frac{1}{2}}(G)$ に対して

$$\iint_G |f(z, z)|^2 dx dy < \infty$$

を示しているが、このような直積空間の対角線集合に沿って

の制限が属する空間を具体的な形で見せ、Bergman space
や調和関数の場合についてはどうなるか。

問題 5. 定理 3.1 の証明は global な議論でセグー核
があることの特殊性を本質的に用いている。何か別証はない
か。局所的な議論は singular integral の理論に結び
つくが、それに成功すれば問題 2 に対する展望が拓か
れると思われる。

問題 6. $\hat{K}_g(z, \bar{u})$ を G 上の重さ g のついたセグー核と
あると G 上の Bergman 核 $K(z, \bar{u})$ と次の恒等式が成立
する:

$$K(z, \bar{u}) = 4\pi \hat{K}_g(z, \bar{u}) \hat{K}_{g^{-1}}(z, \bar{u}) \\ + \sum_{\nu=1}^{N-1} \sum_{\mu=1}^{N-1} C_{\nu, \mu}^{(g)} \overline{z_{\nu}(u)} z_{\mu}(z).$$

こゝに $\{C_{\nu, \mu}^{(g)}\}$ は定数であり、 $\{z_{\nu}(z) dz\}_{\nu=1}^{N-1}$ は G に存在
して real な analytic differentials の basis である。Cf.
[9], [10].

(i) $\|C_{\nu, \mu}^{(g)}\|$ は positive definite か negative definite か

に分かれるか。もしそうならば、かかる f の特徴付けは何か。

(ii) $f \equiv 1$ のとき, $\|C_{\nu, \mu}^{(f)}\|$ は positive definite であることが D. A. Hejhal [8] によって Riemann theta function の理論を用いて証明されているが、この重要で (cf. [15]) 深い命題の初等的な証明はなっているか、あるいはとにかく別証はあるか。

(iii) $f(z) = \partial g(z, t) / \partial v$ のとき, $N = 2$ に対して $\|C_{\nu, \mu}^{(f)}\|$ は negative definite であることが実験的に確かめられている ([15], [21]) が、一般にも成立すると思われる。このいくつかの意味については [15] 参照。—— なお, exact な Bergman 核の場合については対応する問題は完全に解決されている ([14] and cf. [17])。

REFERENCES

1. N. Aronszajn, Theory of reproducing kernels, Trans. Amer. Math. Soc. 68(195), 337-404.
2. S. Bergman, The kernel functions and conformal mapping, Amer. Math. Soc. Survey (1970).
3. H. J. Bremermann, Holomorphic continuation of the kernel function and the Bergman metric in several complex variables, ed. W. Kaplan et al, University of Michigan Press., Ann Arbor 1955, 349-383.
4. J. Douglas, Solution of the problem of Plateau, Trans. Amer. Math. Soc. 33(1931), 263-321.
5. P. L. Duren, Theory of H^p spaces, Pure and Appl. Math., Vol. 38, Academic Press., New York, 1970.
6. P. R. Garabedian, Schwarz's lemma and the Szegő kernel function, Trans. Amer. Math. Soc. 67(1949), 1-35.
7. M. Heins, Hardy classes on Riemann surfaces, Lecture Notes in Mathematics, No. 98, Springer-Verlag, Berlin, 1979.
8. D. A. Hejhal, Theta functions, kernel functions and Abelian integrals, Mem. Amer. Math. Soc. 129(1972).
9. Z. Nehari, A class of domain functions and some allied extremal problems, Trans. Amer. Math. Soc. 69(1950), 161-178.
10. ———, On weighted kernels, J. Analyse Math. 2(1952), 126-149.
11. M. Parreau, Sur les moyennes des fonctions harmoniques et la analytiques et la classification des surfaces de Riemann, Ann. Inst. Fourier 3 (1951), 103-197.
12. S. Saitoh, The kernel functions of Szegő type on Riemann surfaces, Kodai Math. Sem. Rep. 24(1972), 410-421.
13. ———, On some completenesses of the Bergman kernel and the Rudin kernel, Pacific J. Math. 56(1975), 581-596.
14. ———, The exact Bergman kernel and the kernels of Szegő type,

Pacific J. Math. 71(1977), 545-557.

15. ———, The Bergman norm and the Szegő norm, Trans. Amer. Math. Soc. 249(1979), 261-279.

16. ———, Approximation of the Bergman norm by the norms of the direct product of two Szegő spaces, Proc. Amer. Math. Soc. 75(1979), 226-230.

17. ———, The Dirichlet norm and the norm of Szegő type, Trans. Amer. Math. Soc. (to appear).

18. ———, 核関数をもつ Hilbert 空間の直積における極値問題は, 数理解析研究所講究録 323 (1978), 39-64.

19. V. Singh, An integral equation associated with the Szegő kernel function, Proc. London Math. Soc. (3)(1960), 376-394.

20. E. M. Stein, Singular integrals and differentiability properties of functions, Princeton University Press., Princeton, New Jersey, 1970.

21. 山田 陽, Theta functions と domain functions の関係, 数理解析研究所講究録 323 (1978), 84-101.

DEPARTMENT OF MATHEMATICS, FACULTY OF ENGINEERING, GUNMA UNIVERSITY

1-5-1, TENJIN-CHO, KIRYU 376, JAPAN