

Plancherel measure is the Haar measure
on dual object.

京大 理 辰 馬 伸 彦

§ 1. Introduction

可換局所コンパクト群 A において, Plancherel の公式
は, 任意の $L^1(A) \cap L^2(A)$ の元 f に対して,

$$(1) \quad \int_A |f(a)|^2 da = \int_{\hat{A}} |\hat{f}(\hat{a})|^2 d\mu_A(\hat{a}),$$

で与えられる。ここで $\hat{f}$ は f の Fourier 変換で,

$$(2) \quad \hat{f}(\hat{a}) \equiv \int_A f(a) \overline{\langle a, \hat{a} \rangle} da$$

である。

μ_A は Plancherel 測度と呼ばれるが, A の dual
である所の, 可換局所コンパクト群 $\hat{A}$ 上の Haar 測度と
一致する。ちなわち μ_A は次式を満たす。

$$(3) \quad d\mu_A(\hat{a}_1 \hat{a}) = d\mu_A(\hat{a}), \text{ for } \forall \hat{a}_1 \in \hat{A}.$$

(3) は又, 任意の $L^1(A) \cap L^2(A)$ の元 f に対して,

$$(3') \quad \int_A |\tilde{f}(\hat{a}, \hat{a})|^2 d\mu_A(\hat{a}) = \int_A |\tilde{f}(\hat{a})|^2 d\mu_A(\hat{a}),$$

が成立することと同値である。

Haar 測度の一意性から、 μ_A は又常数係数を除いて、
(3') 式により定められる。

一方ユニモジュラー可分局所コンパクト群 G の Plancherel の公式は、F. I. Mautner [1], I. E. Segal [2] により次のように拡張した形で得られている。

この場合、 G の reduced quasi-dual Ω の元 $\omega = \{ \varphi(\omega), W_\varphi(\omega) \}$ に対して、任意の $L^1(G) \cap L^2(G)$ の元 f について計算した $\varphi(\omega)$ の上の作用素

$$(4) \quad W_f(\omega) \equiv \int_G f(g) W_g(\omega) dg$$

が、 f の Fourier 変換に対応するもので、 $\{ W_g(\omega) \}$ ではられる von Neumann 環の正部分の上の適当な normal trace τ_ω によつて、

$$(5) \quad \int_G |f(g)|^2 dg = \int_\Omega \tau_\omega((W_f(\omega))^* W_f(\omega)) d\mu(\omega)$$

と Plancherel 測度 μ を用いて書ける。特に G が type I である場合、 G の reduced dual $\hat{G}$ と、作用素の跡 Tr

従って Hilbert-Schmidt ノルムを用いて,

$$\begin{aligned}
 (5') \quad \int_G |f(g)|^2 dg &= \int_{\hat{G}} \text{Tr}((W_f(\omega))^* W_f(\omega)) d\mu(\omega) \\
 &= \int_{\hat{G}} \|W_f(\omega)\|^2 d\mu(\omega),
 \end{aligned}$$

とあらわされる.

小文では, この一般の Plancherel 測度 μ について, (3') に対応する不変性の公式を導き, 逆に μ が常数係数を除き, この不変性によって定められることを示す.

G がユニモジュラーでないときでも, 適当な条件のもとに, ω の意味を拡大し, 補正の正值自己共役作用素 $T(\omega)$ を各 $W_f(\omega)$ にかけることにより, (5)(5') と同じ式が成立する. そして以下の話はこの場合も同様に進められることを注意しておく. しかし以下では簡単のため, G がユニモジュラーのときに限る. (cf. [4]).

3.2. μ の不変性.

μ_A の不変性は A 上の積に対するものであったから, 以下は G の上に, A 上の積に対応する演算を考える必要がある. A の dual $\hat{A}$ は, A の既約 (一次元) ユニタリ表現の全体であり, その積は表現のテンソル積として与えられる.

る。従って μ_A の不変性を与える (3') 式は次のようにかける。

$$(3'') \quad \int_{\hat{A}} |\hat{f}(\hat{a}_1 \otimes \hat{a})|^2 d\mu_A(\hat{a}) = \int_{\hat{A}} |\hat{f}(\hat{a})|^2 d\mu_A(\hat{a}),$$

for $\forall \hat{a}_1 \in \hat{A}.$

この類推から、非可換の場合も表現のテンソル積を G や $\hat{G}$ の上の演算と考えると、(3'') に対応する式を示せばよいであろう。

さうに一方よく知られている如く、 G の正則表現 $\mathcal{R}$ と任意のユニタリ表現 $\mathcal{O}$ のテンソル積は canonical に、

$$(6) \quad \mathcal{O} \otimes \mathcal{R} \sim \Sigma \otimes \mathcal{R} \quad (\text{重複度 } \dim \mathcal{O} \text{ の直和})$$

となる。このことは適当な型式化のもとに Plancherel 測度がテンソル積の演算で不変であることを示唆すると共に、(3'') に対応する式は、たとえば、type I の G と有限次元の $\mathcal{O}$ で、

$$(7) \quad \int_G \|W_{\mathcal{O}}(\mathcal{O} \otimes \omega)\|^2 d\mu(\omega) = (\dim \mathcal{O}) \int_G \|W_{\mathcal{O}}(\omega)\|^2 d\mu(\omega),$$

となるだろうことを予想せしめる。実際後の議論より、 $\mathcal{O}$ が有限次元のときは (7) が成立することがわかるが、一般にはユニタリ表現は無限次元であることが多く、(7) 式はそのまゝでは無意味であつて、さうに何等かの型式化を必要とする。

まず $\mathcal{O}$ の表現空間 $\mathcal{H}(\mathcal{O})$ と各 ω の表現空間 $\mathcal{H}(\omega)$ に、それぞれ完全正規直交系 $\{v_j\}_j, \{u_\ell(\omega)\}_\ell$ を固定して考え

る. $\{v_j \otimes u_\ell(\omega)\}_{j,\ell}$ は $\mathcal{G}(\mathcal{H} \otimes \omega)$ の完全正規直交系で,

$$(8) \quad \|\mathcal{W}_f(\mathcal{H} \otimes \omega)\|^2 = \sum_j \sum_\ell \|\mathcal{W}_f(\mathcal{H} \otimes \omega)(v_j \otimes u_\ell(\omega))\|^2,$$

となるから, (7) 式を考える替りに,

$$(9) \quad I \equiv \lim_{N \rightarrow \infty} N^{-1} \sum_j^N \int_{\hat{G}} \sum_\ell \|\mathcal{W}_f(\mathcal{H} \otimes \omega)(v_j \otimes u_\ell(\omega))\|^2 d\mu(\omega),$$

を考えて

$$(10) \quad I = \int_{\hat{G}} \|\mathcal{W}_f(\omega)\|^2 d\mu(\omega),$$

を示せばよいであろう。所で実際には以下に示すように, もっと強く, 任意の $\mathcal{G}(\mathcal{H})$ の元 v について,

$$(11) \quad \int_{\hat{G}} \sum_\ell \|\mathcal{W}_f(\mathcal{H} \otimes \omega)(v \otimes u_\ell(\omega))\|^2 d\mu(\omega) = \|v\|^2 \int_{\hat{G}} \|\mathcal{W}_f(\omega)\|^2 d\mu(\omega),$$

が成立することがわかる。*)

G が type I でないとき, (11) の左辺は $\mathcal{H}_\omega$ で示さねばならず, その序の変更を考える。そこで $\mathcal{G}(\omega)$ から $\mathcal{G}(\mathcal{H} \otimes \omega)$ の中への線型写像を

$$(12) \quad \mathcal{W}_f(\mathcal{H}, \omega, v) u \equiv \mathcal{W}_f(\mathcal{H} \otimes \omega)(v \otimes u),$$

により定義すると,

$$(13) \quad \sum_\ell \|\mathcal{W}_f(\mathcal{H} \otimes \omega)(v \otimes u_\ell(\omega))\|^2 = \text{Tr}((\mathcal{W}_f(\mathcal{H}, \omega, v))^* \mathcal{W}_f(\mathcal{H}, \omega, v))$$

(11) より (10) は容易に出るが, (9) の I の定義で $\lim_{N \rightarrow \infty}$ と積分を交換すると, (10) の成立しない例がある。(cf. [3]).

となるが、右辺の作用素の跡 Tr を τ_ω に置きかえると、
 μ の不変性を示す式として、(11) に替って、次の Prop. 1.
 を採用してよいであろう。

Prop. 1. 任意の $\mathcal{G}(\mathcal{D})$ の元 v と、 $L^1(G) \cap L^2(G)$ の元 f で、

$$(14) \int_{\Omega} \tau_\omega((W_f(\mathcal{D}, \omega, v))^* W_f(\mathcal{D}, \omega, v)) d\mu(\omega) \\
= \|v\|^2 \int_{\Omega} \tau_\omega((W_f(\omega))^* W_f(\omega)) d\mu(\omega),$$

が成立つ。

(14) が G が type I のときは、(11) 式を与える = と、従
 ってこれより (10) が成立し、さらに $\dim \mathcal{D} < +\infty$ なら (7) が
 導かれることは容易である。

又 τ_ω 等の linearity から、(14) 式は、

“任意の $\mathcal{G}(\mathcal{D})$ の元 v, w と、 $L^1(G) \cap L^2(G)$ の元 f 共
 について、

$$(15) \int_{\Omega} \tau_\omega((W_R(\mathcal{D}, \omega, w))^* W_f(\mathcal{D}, \omega, v)) d\mu(\omega) \\
= \langle v, w \rangle \int_{\Omega} \tau_\omega((W_R(\omega))^* W_f(\omega)) d\mu(\omega) \quad ”$$

と同値であることを注意しておく。

§3. Prop. 1 の証明

証明は次の Lemma 1 より容易に出る。そこで、 ω , θ は任意に与えられたユニタリ表現とする。

Lemma 1. 任意の $\mathcal{G}(\theta)$ の元 v, w と任意の $L'(G)$ の元 f, k について、

$$(16) \quad (W_k(\theta, \omega, w))^* W_f(\theta, \omega, v) = \sum_j (W_{k\psi(j, w)}(\omega))^* W_{f\psi(j, v)}(\omega).$$

ここで $f\psi(j, v)$, $k\psi(j, w)$ はそれぞれ $f(g)$, $k(g)$ と関数 $\psi(j, v)(g) \equiv \langle W_g(\theta) v, v_j \rangle$, $\psi(j, w)(g) \equiv \langle W_g(\theta) w, v_j \rangle$, との積で、右辺の和は作用素のノルムの意味で収束する。

Proof. 収束性の証明はここでは省略する。(cf. [4])

等式 (16) の成立は次の計算で示される。

$$\begin{aligned} & \langle (W_k(\theta, \omega, w))^* W_f(\theta, \omega, v) u_1, u_2 \rangle = \langle W_f(\theta \otimes \omega)(v \otimes u_1), W_k(\theta \otimes \omega)(w \otimes u_2) \rangle \\ &= \iint_{G \times G} f(g_1) \overline{k(g_2)} \langle W_{g_1}(\theta) v, W_{g_2}(\theta) w \rangle \langle W_{g_1}(\omega) u_1, W_{g_2}(\omega) u_2 \rangle dg_1 dg_2 \\ &= \iint_{G \times G} f(g_1) \overline{k(g_2)} \sum_j \langle W_{g_1}(\theta) v, v_j \rangle \overline{\langle W_{g_2}(\theta) w, v_j \rangle} \langle W_{g_1}(\omega) u_1, W_{g_2}(\omega) u_2 \rangle dg_1 dg_2 \\ &= \sum_j \iint_{G \times G} f(g_1) \psi(j, v)(g_1) \overline{k(g_2) \psi(j, w)(g_2)} \langle W_{g_1}(\omega) u_1, W_{g_2}(\omega) u_2 \rangle dg_1 dg_2 \\ &= \sum_j \langle W_{f\psi(j, v)}(\omega) u_1, W_{k\psi(j, w)}(\omega) u_2 \rangle \end{aligned}$$

$$= \langle \sum_j (W_k \psi(j, w)(\omega))^* W_f \psi(j, v)(\omega) u_1, u_2 \rangle.$$

証了.

Prop 1. の Proof. Lemma 1 § 1),

$$(15) \text{式の左辺} = \int_{\Omega} \sum_j \tau_{\omega}((W_k \psi(j, w)(\omega))^* W_f \psi(j, v)(\omega)) d\mu(\omega)$$

$$= \sum_j \int_G f(g) \psi(j, v)(g) \overline{k(g) \psi(j, w)(g)} dg$$

$$= \int_G f(g) \overline{k(g)} \left(\sum_j \langle W_g(x) v, v_j \rangle \langle v_j, W_g(x) w \rangle \right) dg$$

$$= \langle v, w \rangle \langle f, k \rangle_{L^2(G)} = \langle w, v \rangle \int_{\Omega} \tau_{\omega}((W_k(\omega))^* W_f(\omega)) d\mu(\omega).$$

証了.

§ 4. 不変測度の一意性

与えてきた不変性をみたす測度が, Plancherel 測度 μ の常数倍に限ることを示したい. ところで一般には, reduced quasi-dual Ω は Plancherel 測度 0 を除いてしか定めることが出来ないから, 求める測度の範囲としては, ある種の regularity の条件をみたすものに限る必要がある. そのために次の定義をおく.

Def. 1. Ω 上の正の standard 測度 μ_1 が admissible であるとは、次より 2) の条件をみたすことをいう。

1) 直積分

$$(17) \quad \mathcal{H}_1 \equiv \int_{\Omega} \omega \, d\mu_1(\omega),$$

が $\mathcal{H}_1$ の中心分解を与える。

2) $\mathcal{H}(\omega) \equiv \{W_f(\omega); f \in C_0(G)\}$ の空間に、

$$(18) \quad \langle W_f(\omega), W_g(\omega) \rangle \equiv \tau_\omega((W_g(\omega))^* W_f(\omega)),$$

によりスカラー積を入れる。一方 G の元 g に対して、

$$(19) \quad T_g(W_f(\omega)) \equiv W_f(\omega) W_{g^{-1}}(\omega) = W_{f * \delta_{g^{-1}}}(\omega),$$

で定義される作用素を対応させると、 $\mathcal{H}(\omega)$ を完備化した空間 $\mathcal{H}'(\omega)$ の上に G のユニタリ表現が出来るが、その表現が μ_1 で殆ど到る所 ω と同値である。

Def. 2. admissible な測度 μ_1 が不変性をキフとは、任意のユニタリ表現 $\mathcal{U}$ と、 $\mathcal{U}(\mathcal{H})$ の元及び、任意の $L^1(G) \cap L^2(G)$ の元 f について、次式の成立つ事をいう。

$$(20) \quad \int_{\Omega} \tau_\omega((W_f(\mathcal{U}, \omega, v))^* W_f(\mathcal{U}, \omega, v)) \, d\mu_1(\omega) \\ = \|v\|^2 \int_{\Omega} \tau_\omega((W_f(\omega))^* W_f(\omega)) \, d\mu_1(\omega)$$

これらの定義のもとで次の Prop. 2 が成立する。

Prop. 2. admissible な不変測度 μ は Plancherel 測度 μ の常数倍に限る。

§ 5. Prop. 2 の証明

まず準備として高々可算次元のユニタリ表現の同値類全体の集合 Ω_0 について ideal の概念を定義する。(以下簡単のため“同値類”とこわることは省略する。)

Def. 3. Ω_0 の部分集合 $\mathcal{I}$ が ideal であるとは,

- 1) $\mathcal{I}$ の元の可算集合 $\{\rho_j\}_j$ に対して, その直和 $\sum_j \rho_j$ が又 $\mathcal{I}$ に入る。
- 2) $\mathcal{I}$ の任意の元 ρ の任意の部分表現 ρ_1 (以下 $\rho_1 \leq \rho$ と記す) が又 $\mathcal{I}$ に入る。
- 3) $\mathcal{I}$ の任意の元 ρ と, Ω_0 の任意の元 ρ_0 についてそのテンソル積 $\rho \otimes \rho_0$ も又 $\mathcal{I}$ に入る。

の3条件を満たすことをいう。

Lemma 2. 正則表現 π の可算無限直和 $\sum \pi$ の部分表現の全体 $\mathcal{I}_\pi$ は最小の ideal である。

Proof. $\mathcal{I}_\pi$ の定義より ideal の条件 1) 2) は明らか。

又よく知られているように、任意の Ω_0 の元 Ω_0 に対して、 $\Omega_0 \otimes \mathcal{R} \sim \mathcal{R} \otimes \Omega_0 \sim \mathbb{Z} \otimes \mathcal{R}$ (重複度 $\dim \Omega_0$ の直和) だから条件 3) と、最小の ideal であることはすぐ出る。証了。

Lemma 3. admissible な不変測度 μ_1 について、(17) 式で与えた $\mathcal{R}_1$ は、任意の Ω_0 の元 Ω_0 で、

$$(21) \quad \Omega_0 \otimes \mathcal{R}_1 \subset \mathbb{Z} \otimes \mathcal{R}_1 \text{ (重複度 } \dim \Omega_0 \text{ の直和),}$$

をみたす。

Proof. 先ず Lemma 1 と、Prop 1 のあとの注意と同様の議論から、不変性を与える式 (20) が、

$$\begin{aligned} (22) \quad \langle v, w \rangle &= \int_{\Omega_0} \tau_{\omega}((W_{\mathcal{R}}(\omega))^* W_{\mathcal{F}}(\omega)) d\mu_1(\omega) \\ &= \sum_j \int_{\Omega_0} \tau_{\omega}((W_{\mathcal{R}} \gamma(j, w)(\omega))^* W_{\mathcal{F}} \gamma(j, v)(\omega)) d\mu_1(\omega), \end{aligned}$$

と同値であることは容易にわかる。(22) 式の両辺の積分が $\mathcal{R}$ of 1. の条件 2) で定義したユークリッド表現の μ_1 についての直積分、従つて 2) の仮定により (17) 式の $\mathcal{R}_1$ の表現空間の内積を与えることに注意すれば、 $\mathcal{G}(\Omega_0)$ の元 v と、 $\mathcal{G}(\Omega_1)$ の元 $\{W_{\mathcal{F}}(\omega)\}_{\omega}$ に対して定義された写像、

$$(23) \quad \Pi: v \otimes \{W_{\mathcal{F}}(\omega)\}_{\omega} \rightarrow \{W_{\mathcal{F}} \gamma(j, v)(\omega)\}_{j, \omega},$$

は $\mathcal{G}(\Omega_0) \otimes \mathcal{G}(\Omega_1)$ から $\mathbb{Z} \otimes \mathcal{G}(\Omega_1)$ の中への等長線型写像に一意的に拡張されることは容易である。一方この写像で、

$W_g(\varphi_0) \vee \otimes \{W_f * \delta_{g^{-1}}(\omega)\}_{\omega}$ は $\{W_{(f * \delta_{g^{-1}}) \cdot \psi(j, W_g(\varphi_0) \vee)}(\omega)\}_{j, \omega} =$
 $= \{W_{(f * \delta_{g^{-1}}) \cdot (\psi(j, \vee) * \delta_{g^{-1}})}(\omega)\}_{j, \omega} = \{W_f \cdot \psi(j, \vee) * \delta_{g^{-1}}(\omega)\}_{j, \omega}$ に
 写されるから, Π が $\mathcal{R}_0 \oplus \mathcal{R}_1$ から $\mathcal{R} \oplus \mathcal{R}_1$ の中への同値対
 応を与えることが出る。 証了。

Cor 1. $\mathcal{R}_1$ の可算無限直和 $\sum \mathcal{R}_1$ の部分表現の全体は
 ideal を作る。

Proof. Lemma 3 より明らか。

Cor 2. $\mathcal{R} \leq \sum \mathcal{R}_1$ 。

Proof. $\mathcal{R}$ が最小の ideal であることより明らか。

Cor 3.

$$(24) \quad \mu_1 < \mu.$$

Proof. Cor. 2 より $\mathcal{R}$ は $\sum \mathcal{R}_1$ の部分表現と同値で
 あるからその中心分解は $\mathcal{R}$ 上の, 射影作用素値の関数 $P(\omega)$

$$\text{により } \int_{\mathcal{R}} P(\omega) \sum \omega d\mu_1(\omega) \text{ で与えられ, 一方 } \int_{\mathcal{R}} \omega d\mu(\omega)$$

とも与えられる。中心分解の一意性によってこの二つの分解
 は同じ分解を与えなくてはならぬから, (24) が成立つ。証了。

Lemma 4.

$$(25) \quad \mu < \mu_1.$$

Proof. (25) が成立しないとするれば, μ と同値な μ' と

μ と直交する 0 でない測度 ν とに於て,

$$(26) \quad \mu_1 = \nu + \mu',$$

とかける。一方 Lemma 3. Cor. 3 と同様の議論に於て,

$$\mathcal{R} \oplus \mathcal{D}_1 \text{ は, } \int_{\Omega} P_1(\omega) \Sigma \oplus \omega d\mu_1(\omega) \text{ と } \int_{\Omega} \Sigma \oplus \omega d\mu(\omega) \text{ の}$$

ニツの中心分解をもち, (26) より

$$(27) \quad P_1(\omega) = 0, \quad \text{a. e. } \nu,$$

でなくてはならない。所で, $\mathcal{R} \oplus \mathcal{D}_1$ から $\Sigma \oplus \mathcal{D}_1$ の中への同値対応は, Lemma 3 で, $\mathcal{D}_0 = \mathcal{R}$ とおいたときの, (23)

式の Π で与えられる。従つて, (27) は, 任意の ν, f, j で,

$$(28) \quad W_{f, \gamma(j, \nu)}(\omega) = 0, \quad \text{a. e. } \nu,$$

と同値である。 $\Rightarrow$ で $\mathcal{G}(\mathcal{D}_0) = \mathcal{G}(\mathcal{R}) = L^2(G)$ の完全正規直交系 $\{\nu_j\}_j$ を適宜にとれば, 任意の $C_0(G)$ の元 k に対して, うまく j, ν, f をえらぶことに於て,

$$(29) \quad k(g) = f(g) \gamma(j, \nu)(g),$$

と出来るから, (28) 式は, 任意の $C_0(G)$ の元 k について,

$$(30) \quad W_k(\omega) = 0, \quad \text{a. e. } \nu,$$

となり, Def. 1, 2) と ν のとり方に反する。 証了

Prop. 2 の Proof. (24), (25) から, Ω 上の正值可測関数 ω があつて,

$$(31) \quad d\mu_1(w) = w(w) d\mu(w),$$

とかける。そこで $L^2(G)$ 上の正值自己共役作用素 A を,

$$(32) \quad A \equiv \int_{\Omega} w(w) I_w d\mu(w),$$

で定義する (I_w は $\mathcal{G}(w)$ 上の恒等作用素) と容易に,

$$(33) \quad A R_g = R_g A.$$

一方 μ の不変性の公式 (14) から, Lemma 3 での議論と同様にして, $R_0 \otimes R$ と $\Sigma \otimes R$ の同値対応における内積間の式,

$$(34) \quad \langle v, w \rangle \langle f, k \rangle_{L^2(G)} = \sum_j \langle f \psi(j, v), k \psi(j, w) \rangle_{L^2(G)},$$

が成る。又 μ_1 の不変性 (20) は, 同様にして,

$$(35) \quad \langle v, w \rangle \langle Af, k \rangle_{L^2(G)} = \sum_j \langle A(f \psi(j, v)), k \psi(j, w) \rangle_{L^2(G)}$$

を導く。(34) 式の f に Af を代入して, (35) と等しいとし,

$$(36) \quad \sum_j \langle (Af) \psi(j, v), k \psi(j, w) \rangle_{L^2(G)} = \sum_j \langle A(f \psi(j, v)), k \psi(j, w) \rangle_{L^2(G)}$$

を得る。 $\{ \{ k \psi(j, w) \}_j ; k \in C_0(G), w \in \mathcal{G}(R_0) \}$ が $\Sigma \otimes L^2(G)$ を

はることに注意すると, (36) は $\Sigma \otimes L^2(G)$ の内積と見て,

$$(37) \quad (Af) \psi(j, v) = A(f \psi(j, v)) \quad (\forall j)$$

を示す。このことは A が, G の関数 $\psi(j, v)$ をかける作用素と可換であり, 従って A 自身が, G 上のある関数 $a(g)$ をかける作用素であることを導く。さらに (33) より,

$$(38) \quad a(g) = \text{const} \quad \text{a.e. } g,$$

であり, A がスカラー作用素であること, ちなわち $w(w)$

が常数であることが結論された。

証 了.

文 献

- [1] F.I. Mautner, Unitary representations of locally compact groups, I, II, Ann. of Math., 51 (1950), 1-25 ; 52 (1950), 528-556.
- [2] I.E. Segal, An extension of Plancherel's formula to separable unimodular groups. Ann. of Math., 52 (1950), 272-292.
- [3] N. Tatsuuma, Invariancy of Plancherel measure under the operation of Kronecker product, Proc. of Japan Acad. 47 (1971), 252-256.
- [4] N. Tatsuuma, Plancherel formula for non-unimodular locally compact groups, to appear.