

# これまでの研究成果のまとめ

星野 浄生

2025年11月20日

乱関数に関する微積分に関し、以下の結果を得た。

## (1) Ogawa 積分可能性 ([4])

Itô 過程の Ogawa 積分が Itô 積分を用いて表示されることが [6] で得られている。私と数見哲也氏は、その拡張として Itô 過程の非因果的拡張である S-type Itô 過程の Ogawa 積分が Skorokhod 積分とその共役作用素を用いて表示されることを示した。

## (2) 乱関数の SFC による同定 ([1, 2, 5])

Brown 運動  $B$  で駆動される乱関数  $X_t = \int_0^t a(t) dB_t + \int_0^t b(t) dt$  の係数  $a(t), b(t)$  が、 $L^2([0, L])$  の CONS  $(e_n)_{n \in \mathbb{N}}$  に関する確率 Fourier 係数 (SFC):

$$(e_n, dX) = \int_0^L e_n dX$$

で決定されるか、という [7] で提起された問に対して、 $\int dB$  が Skorokhod 積分である場合の SFC (SFC-S) と  $\int dB$  が Ogawa 積分である場合の SFC (SFC-O) を採用し、以下の肯定的な答えを得た。以下、FVP,  $\mathcal{L}^{r,2}$  で、それぞれ有界変動な乱関数全体、可微分性  $r$  の 2 乗可積分 Wiener 汎関数全体を表す。

### • SFC-S からの乱関数の導出 ([2, 5])

(a)  $a(t) \in \mathcal{L}^{1,2}, b(t) \in \mathcal{L}^{0,2}$  の導出 ([9, 10] の結果の拡張)

### • SFC-O からの乱関数の導出 ([1, 2, 5])

(a)  $a(t)$  が  $V_t \in \text{FVP}$  と Itô 積分過程  $M_t$  と Skorokhod 積分過程  $Z_t$  と  $\mathcal{L}^{1,2}$  関数の Hilbert-Schmidt 変換  $W_t$  により  $a(t) = V_t + M_t + Z_t + W_t$  と表されるときや、より一般の乱関数のときの  $a(t), b(t)$  の導出 ([8, 11] の結果の拡張)

## (3) 確率微分可能性 ([3])

確率微分や 2 次変分は確率積分の逆演算に相当する基本的な演算であるが、一般に、2 次変分をもつ乱関数  $X, Y$  の和は 2 次変分をもつとは限らない。そこで、 $V$  を 2 次変分をもつ乱関数としたとき、2 次変分  $[\cdot]$  と  $V$  に関する確率微分  $\frac{d}{dV}$  が存在する乱関数のクラス:

$$Q(V) = \left\{ X : \text{乱関数} \left| [X], \frac{dX}{dV} \text{ が存在し, } \frac{d[X]}{d[V]} = \left| \frac{dX}{dV} \right|^2 \right. \right\}$$

は Itô 積分過程, Stratonovich-Fisk 積分過程, Skorokhod 積分過程の全体を含み、線形空間をなすことを示した。この結果は、2 次変分をもつ乱関数  $X, Y$  の和が 2 次変分をもつための十分条件を与えるとともに、確率積分の理論に依らず、確率微分や 2 次変分の計算が統一的にできることを意味する。尚、この結果は、(2) 「乱関数の SFC による同定」に関する結果 [1] の証明に用いられる。

## 参考文献

- [1] K. Hoshino, Identification of random functions from the SFCs defined by the Ogawa integral regarding regular CONSs (Probability Symposium), RIMS Kôkyûroku. **2116**, 95-104, (2019).
- [2] K. Hoshino, Derivation formulas of noncausal finite variation processes from the stochastic Fourier coefficients, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, vol. 37. **2**, 527-564, (2020).
- [3] K. Hoshino, On the stochastic differentiability of noncausal processes with respect to the process with quadratic variation, Stochastics: An International Journal of Probability and Stochastic Processes, vol. 95. **8**, pp 1446-1473, (2023).
- [4] K. Hoshino, T. Kazumi, On the Ogawa integrability of noncausal Wiener functionals, Stochastics. Vol. 91. **5**, 773-796, (2019).
- [5] K. Hoshino, T. Kazumi, On the Identification of Noncausal Wiener Functionals from the Stochastic Fourier Coefficients, Journal of Theoretical Probability, vol. 32. **4**, 1973-1989, (2019).
- [6] S. Ogawa, The stochastic integral of noncausal type as an extension of the symmetric integrals, Japan J. Appl. Math. **2**, 229-240, (1985).
- [7] S. Ogawa, On a stochastic Fourier transformation, Stochastics. Vol. 85. **2**, 286-294, (2013).
- [8] S. Ogawa, Direct inversion formulas for the natural SFT, Sankhya. The Indian Journal of Statistics, Vol. 80-A, 267-279, (2018).
- [9] S. Ogawa, H. Uemura, On a stochastic Fourier coefficient: case of noncausal function, J.Theoret. Probab. **27**, 370-382, (2014).
- [10] S. Ogawa, H. Uemura, Identification of a noncausal Itô process from the stochastic Fourier coefficients, Bull. Sci. Math. **138**, 147-163, (2014).
- [11] S. Ogawa, H. Uemura, Some aspects of strong inversion formulas of an SFT, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics. **35-1**, 373-390, (2018).