

平成 21年 6月 9日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19800009
 研究課題名（和文） マルチプルエッジを用いたシグネチャ解析による
 パスウェイ変動予測
 研究課題名（英文） Dynamic Pathway Prediction by Signature Analysis
 using Multiple Edge
 研究代表者
 大田 佳宏（OHTA YOSHIHIRO）
 東京大学・先端科学技術研究センター・特任研究員
 研究者番号：80436592

研究成果の概要：

生物系公開データベースと文献情報から時間的・空間的に関連の深いパスウェイを高精度に抽出する研究を行った。また、属性となる情報を取得し、関係の近いパスウェイをクラスタリングすることで、高精度で網羅性の高いシグネチャパスウェイ知識ベースの構築を可能とした。さらに、ここで構築された知識ベースを用いて、発現データを入力とし変動しているパスウェイを自動的に同定するための予測実験を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	140,000	0	140,000
2008 年度	140,000	42,000	182,000
年度			
年度			
年度			
総計	280,000	42,000	322,000

研究分野：情報科学

科研費の分科・細目：生体生命情報学・1011

キーワード：マルチプルエッジ・シグネチャ解析

1. 研究開始当初の背景

薬剤応答性や疾患感受性などの生物システムを解明するために、タイリングアレイ、ChIP on Chip, MeDIP Chip 解析などの発現データ解析、またコピー数多型解析の研究が広く進められている。近年ではエピゲノム解析など、発現データの解析はますます注目を浴びているが、発現解析の実験に用いるプローブの中には機能未知の遺伝子が数多くあり、それら機能未知の遺伝子を含んだパスウェイの変動をいかに予測するかが重要な問題となっている。

2. 研究の目的

これまで機能未知の遺伝子の発現解析には、確率・統計モデルを用いて変動している個別の遺伝子を抽出・解析する研究が一般的に行われているが、確率手法により抽出された変動遺伝子の中にはノイズとなる遺伝子が多くなってしまおうという問題点がある。

また、機能既知遺伝子に関しては、個別の遺伝子のみについての特徴を解析するよりも、変動している遺伝子セットとそれらと関連するパスウェイの変動として意味付けを

することが重要となっている。例えば、個別の遺伝子では有意な変動率が得られない場合でも、あるパスウェイに関連する遺伝子セットの9割以上が少しずつ変動している場合には、このパスウェイをフェノタイプの原因要素として発見する必要がある。

そこで本研究では、新規にマルチプルエッジを用いた網羅性の高いシグネチャパスウェイ知識ベースを構築し、その成果を用いて、薬剤応答性や疾患感受性に関連する発現データから、高精度にパスウェイ変動予測を行うことで上記の困難な問題を解決するための研究開発を行った。

3. 研究の方法

(1) 大規模文献集合からのパスウェイ情報の抽出。

テキストマイニングの技術を用いて、大規模な文献集合からマルチプルエッジを基にしたパスウェイ情報と、関連する遺伝子セットを抽出するための研究を行った。報告者はこれまで、文献から遺伝子・蛋白質間の相互作用情報を抽出する研究を行ってきたが、これらの技術を応用して、パスウェイ情報と遺伝子セットに関する情報抽出を行った。この際、文献中に記載されたパスウェイの名称と遺伝子セットを対応付けて抽出する点が非常に困難ではあったが、次の工夫をすることで問題点を解決した。

30 pathways are annotated using 41 out of 129 symbols

Path	Symbol	Source	Component	Symbol
1	RNA binding (52/7100 complex, 100 kDa subunit	027	0	ASCC3L1 EEF1A1 EEF1A2
2	SMY complex (52 kDa subunit	014	0	ENOR1
3	RNA binding (52/7100 complex 57 kDa subunit	018	0	ASCC3L1 EEF1A1 EEF1A2
4	path protein of the MBL1/FA202 complex	018	0	EPOR0 PRKDC
5	ICRF1 histone acetylase complex	015	0	EPOR0 PRKDC
6	Poa mRNA cleavage complex 2 protein Pn11	036	0	PRPF8 PRPF1 EPFO
7	Poa mRNA cleavage complex 2 protein Cn1	033	0	PRPF8 PRPF1 EPFO
8	Major histocompatibility complex enhancer binding protein MAE3	024	0	DYNLL1 BSL30 BSL4
9	Major histocompatibility complex class II Y low binding protein Y	012	0	PRPF8 PRPF1
10	STAGA complex (52 protein subunit	015	0	SEPT9
11	ICRF1 antigen, epsilon polypeptide (172) complex0	011	0	NCL
12	Chromatin remodeling complex SWP10 subunit	007	0	SUP118H
13	Chromatin remodeling complex SWP40A subunit	006	0	SUP118H
14	Chromatin remodeling complex SWP40B subunit	006	0	SUP118H
15	Chromatin remodeling complex SWP40C subunit	006	0	SUP118H
16	Chromatin remodeling complex SWP40D subunit	006	0	SUP118H
17	Chromatin remodeling complex SWP40E subunit	006	0	SUP118H
18	Chromatin remodeling complex SWP40F subunit	006	0	SUP118H
19	Chromatin remodeling complex SWP40G subunit	006	0	SUP118H
20	Chromatin remodeling complex SWP40H subunit	006	0	SUP118H
21	Chromatin remodeling complex SWP40I subunit	006	0	SUP118H
22	Chromatin remodeling complex SWP40J subunit	006	0	SUP118H
23	Chromatin remodeling complex SWP40K subunit	006	0	SUP118H
24	Chromatin remodeling complex SWP40L subunit	006	0	SUP118H
25	Chromatin remodeling complex SWP40M subunit	006	0	SUP118H
26	Chromatin remodeling complex SWP40N subunit	006	0	SUP118H
27	Chromatin remodeling complex SWP40O subunit	006	0	SUP118H
28	Chromatin remodeling complex SWP40P subunit	006	0	SUP118H
29	Chromatin remodeling complex SWP40Q subunit	006	0	SUP118H
30	Chromatin remodeling complex SWP40R subunit	006	0	SUP118H
31	Chromatin remodeling complex SWP40S subunit	006	0	SUP118H
32	Chromatin remodeling complex SWP40T subunit	006	0	SUP118H
33	Chromatin remodeling complex SWP40U subunit	006	0	SUP118H
34	Chromatin remodeling complex SWP40V subunit	006	0	SUP118H
35	Chromatin remodeling complex SWP40W subunit	006	0	SUP118H
36	Chromatin remodeling complex SWP40X subunit	006	0	SUP118H
37	Chromatin remodeling complex SWP40Y subunit	006	0	SUP118H
38	Chromatin remodeling complex SWP40Z subunit	006	0	SUP118H
39	Chromatin remodeling complex SWP40AA subunit	006	0	SUP118H
40	Chromatin remodeling complex SWP40AB subunit	006	0	SUP118H
41	Chromatin remodeling complex SWP40AC subunit	006	0	SUP118H
42	Chromatin remodeling complex SWP40AD subunit	006	0	SUP118H
43	Chromatin remodeling complex SWP40AE subunit	006	0	SUP118H
44	Chromatin remodeling complex SWP40AF subunit	006	0	SUP118H
45	Chromatin remodeling complex SWP40AG subunit	006	0	SUP118H
46	Chromatin remodeling complex SWP40AH subunit	006	0	SUP118H
47	Chromatin remodeling complex SWP40AI subunit	006	0	SUP118H
48	Chromatin remodeling complex SWP40AJ subunit	006	0	SUP118H
49	Chromatin remodeling complex SWP40AK subunit	006	0	SUP118H
50	Chromatin remodeling complex SWP40AL subunit	006	0	SUP118H
51	Chromatin remodeling complex SWP40AM subunit	006	0	SUP118H
52	Chromatin remodeling complex SWP40AN subunit	006	0	SUP118H
53	Chromatin remodeling complex SWP40AO subunit	006	0	SUP118H
54	Chromatin remodeling complex SWP40AP subunit	006	0	SUP118H
55	Chromatin remodeling complex SWP40AQ subunit	006	0	SUP118H
56	Chromatin remodeling complex SWP40AR subunit	006	0	SUP118H
57	Chromatin remodeling complex SWP40AS subunit	006	0	SUP118H
58	Chromatin remodeling complex SWP40AT subunit	006	0	SUP118H
59	Chromatin remodeling complex SWP40AU subunit	006	0	SUP118H
60	Chromatin remodeling complex SWP40AV subunit	006	0	SUP118H
61	Chromatin remodeling complex SWP40AW subunit	006	0	SUP118H
62	Chromatin remodeling complex SWP40AX subunit	006	0	SUP118H
63	Chromatin remodeling complex SWP40AY subunit	006	0	SUP118H
64	Chromatin remodeling complex SWP40AZ subunit	006	0	SUP118H
65	Chromatin remodeling complex SWP40BA subunit	006	0	SUP118H
66	Chromatin remodeling complex SWP40BB subunit	006	0	SUP118H
67	Chromatin remodeling complex SWP40BC subunit	006	0	SUP118H
68	Chromatin remodeling complex SWP40BD subunit	006	0	SUP118H
69	Chromatin remodeling complex SWP40BE subunit	006	0	SUP118H
70	Chromatin remodeling complex SWP40BF subunit	006	0	SUP118H
71	Chromatin remodeling complex SWP40BG subunit	006	0	SUP118H
72	Chromatin remodeling complex SWP40BH subunit	006	0	SUP118H
73	Chromatin remodeling complex SWP40BI subunit	006	0	SUP118H
74	Chromatin remodeling complex SWP40BJ subunit	006	0	SUP118H
75	Chromatin remodeling complex SWP40BK subunit	006	0	SUP118H
76	Chromatin remodeling complex SWP40BL subunit	006	0	SUP118H
77	Chromatin remodeling complex SWP40BM subunit	006	0	SUP118H
78	Chromatin remodeling complex SWP40BN subunit	006	0	SUP118H
79	Chromatin remodeling complex SWP40BO subunit	006	0	SUP118H
80	Chromatin remodeling complex SWP40BP subunit	006	0	SUP118H
81	Chromatin remodeling complex SWP40BQ subunit	006	0	SUP118H
82	Chromatin remodeling complex SWP40BR subunit	006	0	SUP118H
83	Chromatin remodeling complex SWP40BS subunit	006	0	SUP118H
84	Chromatin remodeling complex SWP40BT subunit	006	0	SUP118H
85	Chromatin remodeling complex SWP40BU subunit	006	0	SUP118H
86	Chromatin remodeling complex SWP40BV subunit	006	0	SUP118H
87	Chromatin remodeling complex SWP40BW subunit	006	0	SUP118H
88	Chromatin remodeling complex SWP40BX subunit	006	0	SUP118H
89	Chromatin remodeling complex SWP40BY subunit	006	0	SUP118H
90	Chromatin remodeling complex SWP40BZ subunit	006	0	SUP118H
91	Chromatin remodeling complex SWP40CA subunit	006	0	SUP118H
92	Chromatin remodeling complex SWP40CB subunit	006	0	SUP118H
93	Chromatin remodeling complex SWP40CC subunit	006	0	SUP118H
94	Chromatin remodeling complex SWP40CD subunit	006	0	SUP118H
95	Chromatin remodeling complex SWP40CE subunit	006	0	SUP118H
96	Chromatin remodeling complex SWP40CF subunit	006	0	SUP118H
97	Chromatin remodeling complex SWP40CG subunit	006	0	SUP118H
98	Chromatin remodeling complex SWP40CH subunit	006	0	SUP118H
99	Chromatin remodeling complex SWP40CI subunit	006	0	SUP118H
100	Chromatin remodeling complex SWP40CJ subunit	006	0	SUP118H
101	Chromatin remodeling complex SWP40CK subunit	006	0	SUP118H
102	Chromatin remodeling complex SWP40CL subunit	006	0	SUP118H
103	Chromatin remodeling complex SWP40CM subunit	006	0	SUP118H
104	Chromatin remodeling complex SWP40CN subunit	006	0	SUP118H
105	Chromatin remodeling complex SWP40CO subunit	006	0	SUP118H
106	Chromatin remodeling complex SWP40CP subunit	006	0	SUP118H
107	Chromatin remodeling complex SWP40CQ subunit	006	0	SUP118H
108	Chromatin remodeling complex SWP40CR subunit	006	0	SUP118H
109	Chromatin remodeling complex SWP40CS subunit	006	0	SUP118H
110	Chromatin remodeling complex SWP40CT subunit	006	0	SUP118H
111	Chromatin remodeling complex SWP40CU subunit	006	0	SUP118H
112	Chromatin remodeling complex SWP40CV subunit	006	0	SUP118H
113	Chromatin remodeling complex SWP40CW subunit	006	0	SUP118H
114	Chromatin remodeling complex SWP40CX subunit	006	0	SUP118H
115	Chromatin remodeling complex SWP40CY subunit	006	0	SUP118H
116	Chromatin remodeling complex SWP40CZ subunit	006	0	SUP118H
117	Chromatin remodeling complex SWP40DA subunit	006	0	SUP118H
118	Chromatin remodeling complex SWP40DB subunit	006	0	SUP118H
119	Chromatin remodeling complex SWP40DC subunit	006	0	SUP118H
120	Chromatin remodeling complex SWP40DD subunit	006	0	SUP118H
121	Chromatin remodeling complex SWP40DE subunit	006	0	SUP118H
122	Chromatin remodeling complex SWP40DF subunit	006	0	SUP118H
123	Chromatin remodeling complex SWP40DG subunit	006	0	SUP118H
124	Chromatin remodeling complex SWP40DH subunit	006	0	SUP118H
125	Chromatin remodeling complex SWP40DI subunit	006	0	SUP118H
126	Chromatin remodeling complex SWP40DJ subunit	006	0	SUP118H
127	Chromatin remodeling complex SWP40DK subunit	006	0	SUP118H
128	Chromatin remodeling complex SWP40DL subunit	006	0	SUP118H
129	Chromatin remodeling complex SWP40DM subunit	006	0	SUP118H
130	Chromatin remodeling complex SWP40DN subunit	006	0	SUP118H
131	Chromatin remodeling complex SWP40DO subunit	006	0	SUP118H
132	Chromatin remodeling complex SWP40DP subunit	006	0	SUP118H
133	Chromatin remodeling complex SWP40DQ subunit	006	0	SUP118H
134	Chromatin remodeling complex SWP40DR subunit	006	0	SUP118H
135	Chromatin remodeling complex SWP40DS subunit	006	0	SUP118H
136	Chromatin remodeling complex SWP40DT subunit	006	0	SUP118H
137	Chromatin remodeling complex SWP40DU subunit	006	0	SUP118H
138	Chromatin remodeling complex SWP40DV subunit	006	0	SUP118H
139	Chromatin remodeling complex SWP40DW subunit	006	0	SUP118H
140	Chromatin remodeling complex SWP40DX subunit	006	0	SUP118H
141	Chromatin remodeling complex SWP40DY subunit	006	0	SUP118H
142	Chromatin remodeling complex SWP40DZ subunit	006	0	SUP118H
143	Chromatin remodeling complex SWP40EA subunit	006	0	SUP118H
144	Chromatin remodeling complex SWP40EB subunit	006	0	SUP118H
145	Chromatin remodeling complex SWP40EC subunit	006	0	SUP118H
146	Chromatin remodeling complex SWP40ED subunit	006	0	SUP118H
147	Chromatin remodeling complex SWP40EE subunit	006	0	SUP118H
148	Chromatin remodeling complex SWP40EF subunit	006	0	SUP118H
149	Chromatin remodeling complex SWP40EG subunit	006	0	SUP118H
150	Chromatin remodeling complex SWP40EH subunit	006	0	SUP118H
151	Chromatin remodeling complex SWP40EI subunit	006	0	SUP118H
152	Chromatin remodeling complex SWP40EJ subunit	006	0	SUP118H
153	Chromatin remodeling complex SWP40EK subunit	006	0	SUP118H
154	Chromatin remodeling complex SWP40EL subunit	006	0	SUP118H
155	Chromatin remodeling complex SWP40EM subunit	006	0	SUP118H
156	Chromatin remodeling complex SWP40EN subunit	006	0	SUP118H
157	Chromatin remodeling complex SWP40EO subunit	006	0	SUP118H
158	Chromatin remodeling complex SWP40EP subunit	006	0	SUP118H
159	Chromatin remodeling complex SWP40EQ subunit	006	0	SUP118H
160	Chromatin remodeling complex SWP40ER subunit	006	0	SUP118H
161	Chromatin remodeling complex SWP40ES subunit	006	0	SUP118H
162	Chromatin remodeling complex SWP40ET subunit	006	0	SUP118H
163	Chromatin remodeling complex SWP40EU subunit	006	0	SUP118H
164	Chromatin remodeling complex SWP40EV subunit	006	0	SUP118H
165	Chromatin remodeling complex SWP40EW subunit	006	0	SUP118H
166	Chromatin remodeling complex SWP40EX subunit	006	0	SUP118H
167	Chromatin remodeling complex SWP40EY subunit	006	0	SUP118H
168	Chromatin remodeling complex SWP40EZ subunit	006	0	SUP118H
169	Chromatin remodeling complex SWP40FA subunit	006	0	SUP118H
170	Chromatin remodeling complex SWP40FB subunit	006	0	SUP118H
171	Chromatin remodeling complex SWP40FC subunit	006	0	SUP118H
172	Chromatin remodeling complex SWP40FD subunit	006	0	SUP118H
173	Chromatin remodeling complex SWP40FE subunit	006	0	SUP118H
174	Chromatin remodeling complex SWP40FF subunit	006	0	SUP118H
175	Chromatin remodeling complex SWP40FG subunit	006	0	SUP118H
176	Chromatin remodeling complex SWP40FH subunit	006	0	SUP118H
177	Chromatin remodeling complex SWP40FI subunit	006	0	SUP118H
178	Chromatin remodeling complex SWP40FJ subunit	006	0	SUP118H
179	Chromatin remodeling complex SWP40FK subunit	006	0	SUP118H
180	Chromatin remodeling complex SWP40FL subunit	006	0	SUP118H
181	Chromatin remodeling complex SWP40FM subunit	006	0	SUP118H
182	Chromatin remodeling complex SWP40FN subunit	006	0	SUP118H
183	Chromatin remodeling complex SWP40FO subunit	006	0	SUP118H
184	Chromatin remodeling complex SWP40FP subunit	006	0	SUP118H
185	Chromatin remodeling complex SWP40FQ subunit	006	0	SUP118H
186	Chromatin remodeling complex SWP40FR subunit	006	0	SUP118H
187	Chromatin remodeling complex SWP40FS subunit	006	0	SUP118H
188	Chromatin remodeling complex SWP40FT subunit	006	0	SUP118H
189	Chromatin remodeling complex SWP40FU subunit	006	0	SUP118H
190	Chromatin remodeling complex SWP40FV subunit	006	0	SUP118H
191	Chromatin remodeling complex SWP40FW subunit	006	0	SUP118H
192	Chromatin remodeling complex SWP40FX subunit	006	0	SUP118H
193	Chromatin remodeling complex SWP40FY subunit	006	0	SUP118H
194	Chromatin remodeling complex SWP40FZ subunit	006	0	SUP118H
195	Chromatin remodeling complex SWP40GA subunit	006	0	SUP118H
196	Chromatin remodeling complex SWP40GB subunit	006	0	SUP118H
197	Chromatin remodeling complex SWP40GC subunit	006	0	SUP118H
198	Chromatin remodeling complex SWP40GD subunit	006	0	SUP118H
199	Chromatin remodeling complex SWP40GE subunit	006	0	SUP118H
200	Chromatin remodeling complex SWP40GF subunit	006	0	SUP118H
201	Chromatin remodeling complex SWP40GG subunit	006	0	SUP118H
202	Chromatin remodeling complex SWP40GH subunit	006	0	SUP118H
203	Chromatin remodeling complex SWP40GI subunit	006	0	SUP118H
204	Chromatin remodeling complex SWP40GJ subunit	006	0	SUP118H
205	Chromatin remodeling complex SWP40GK subunit	006	0	SUP118H
206	Chromatin remodeling complex SWP40GL subunit	006	0	SUP118H
207	Chromatin remodeling complex SWP40GM subunit	006	0	SUP118H
208	Chromatin remodeling complex SWP40GN subunit	006	0	SUP118H
209	Chromatin remodeling complex SWP40GO subunit	006	0	SUP118H
210	Chromatin remodeling complex SWP40GP subunit	006	0	SUP118H
211	Chromatin remodeling complex SWP40GQ subunit	006	0	SUP118H
212	Chromatin remodeling complex SWP40GR subunit	006	0	SUP118H
213	Chromatin remodeling complex SWP40GS subunit	006	0	SUP118H
214	Chromatin remodeling complex SWP40GT subunit	006	0	SUP118H
215	Chromatin remodeling complex SWP40GU subunit	006	0	SUP118H
216	Chromatin remodeling complex SWP40GV subunit	006	0	SUP118H
217	Chromatin remodeling complex SWP40GW subunit	006	0	SUP118H
218	Chromatin remodeling complex SWP40GX subunit	006	0	SUP118H
219	Chromatin remodeling complex SWP40GY subunit	006	0	SUP118H
220	Chromatin remodeling complex SWP40GZ subunit	006	0	SUP118H
221	Chromatin remodeling complex			

を効果的に可視化するための研究開発も同時に行った。

ここで、発現データなどの実験データに関しては、報告者の所属する東京大学先端科学技術研究センターシステム生物学ラボラトリーの実験系研究室と共同して、HUVECやHepG2などの細胞を用いて、実際に得られた転写因子刺激、あるいはエピゲノム関連の実験データを利用し、必要な場合には追加実験を行いながら研究開発を推進した。

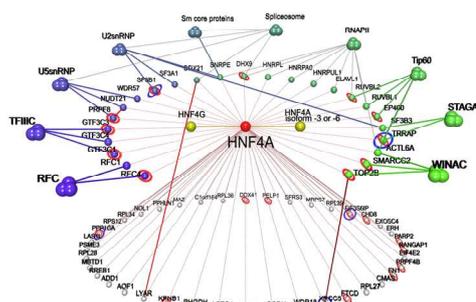


図3 . マルチプルエッジを用いたタンパク質複合体ネットワーク

4 . 研究成果

平成19年度は、マルチプルエッジを用いた大規模文献集合からのパスウェイ情報の抽出と、シグネチャパスウェイ知識ベース構築のための研究開発を行った。

平成20年度は、癌や動脈硬化に関する発現データ取得実験から、発現データ解析と変動パスウェイの解析・予測を行った。

また、ここで得られたシグネチャパスウェイ知識ベースと、パスウェイ解析・予測などの結果については、転写因子の複合体解析についても応用した。

本研究では、マルチプルエッジの概念をテキストマイニング技術に応用し、文献から時間的・空間的に関連の深いパスウェイ情報を高精度に抽出する点に特色がある。

また、生物系の公開データベースなどからもシグネチャとなる情報を取得し、関係の近いパスウェイをクラスタリングすることで、これまで困難であった、高精度で網羅性の高いシグネチャパスウェイ知識ベースの構築を可能とした。

さらに、ここで構築された知識ベースを用いて、発現データを入力として、薬剤投与の種類などのパラメータごとに変動している

パスウェイを自動的に同定し、生体内での主要なパスウェイ変化を予測することも大きな特色である。

本研究の意義は、薬剤応答性や疾患感受性による生体内のパスウェイ変化を予測することで、副作用の原因や、新規治療標的分子の同定が可能となるところにあり、産業上の有用性も非常に大きい。

報告者の所属する東京大学先端科学技術研究センターシステム生物学ラボラトリーでは、癌や動脈硬化についての発現データ、転写因子の複合体データなど、多くの実験データが得られるため、それらの実験データに対して本研究の技術を実際に応用し、疾患原因遺伝子となる新規遺伝子や複合体タンパク質の発見を行うことで、広くその成果を公開していく予定である。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 3件)

Tatsuhiko Kodama, Yoshihiro Ohta, Meng Xu, Takashi Minami1, Youichiro Wada, Shu-ichi Tsutsumi, Shumpei Ishikawa, Takao Hamakubo, Hiroyuki Aburatani, Peter R Cook, and Sigeo Ihara, Multiple Snapshots Obtained Using Genomic Tiling Arrays Reveal the Dynamics of Transcription in Human Umbilical Endothelial Cells, 2008, 6, 1-5, Sydney, Australia.

Nobuhiko Oshida, Jun-ichi Kitakami, Naoko S. Nishikawa, Yoshihiro Ohta, and Sigeo Ihara, Robustness of the protein interaction network. The 7th international workshop on advanced genomics. Tokyo, Japan, November 27-28, 2007.

Kenji Daigo, Takeshi Kawamura, Satoshi Katayose, Yoshihiro Ohta, Toshiya Tanaka, Sigeo Ihara, Tatsuhiko Kodama, Takao Hamakubo, "High-resolution targeted proteomics of endogenous nuclear receptor complex using high-quality immunomagnetic beads, Cold Spring Harbor Laboratory Mechanisms of Eukaryotic Transcription meeting, August 31, 2007 Cold Spring Harbor, NY.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

大田 佳宏 (OHTA YOSHIHIRO)
東京大学・先端科学技術研究センター・
特任研究員
研究者番号：80436592

(2)研究分担者

(3)連携研究者