報 告

関東平野の地下における新第三系の分布*

林 広樹**・高橋 雅紀***・笠原 敬司**

(Received September 8, 2003, accepted May 14, 2004)

**Subsurface distribution of the Neogene deposits in the
Kanto Plain, central Honshu, Japan**

Hiroki Hayashi, Masaki Takahashi and Keiji Kasahara

Abstract: Subsurface distribution of the Neogene deposits in the Kanto Plain, central Honshu, Japan, was demonstrated by collecting deep wells and geophysical data. The “N. 8 deposits” located beneath the Niwaya Unconformity are regionally restricted and make the concealed basins like as half-graben structure. In contrast, the “post N. 8 deposits” and overlying Kazusa and Shimousa Groups are widely distributed. This difference in the distribution pattern is probably owing to the tectonic framework before and after the Niwaya Unconformity, namely, the latest early Miocene rifting and wide-area subsidence since middle Miocene.

Key words: deep well, geophysical survey, Kanto Plain, subsurface geology

1. はじめに

本州中央部に位置する日本最大の平野である関東平野の基盤構造は、重力探査などにより極めて複雑であると推定され、形成時期や形成機構を異にする複数の堆積盆が地下に伏在していると考えられる。基盤上には、場所によって3,000 m を超える厚い新第三系が堆積しており、こうした堆積層の分布を詳細に把握することによって、関東平野を形成した構造モデルに制約を与えられる可能性がある。

関東平野では戦前から茂原・大多喜などの水溶性ガス田が開発され、1950年代には地質調査所（現在の産業技

術総合研究所、地質調査総合センター）や石油会社などによる石油・天然ガス資源探査を目的とした探鉱が行われた。これらの重力探鉱、地震探鉱および坑井などの成果を総合することにより関東平野中央部の基盤構造モデルが提唱され、基盤深度が3,000 m を超える地域や平野を南北に切る烏山-菅生沼断層の存在が推定された（石井, 1962）。1970年代以降になると、首都圏の地震防災を目的とした地盤調査や地震観測井の設置が積極的に行われるようになった。国立防災科学技術センター（現在の防災科学技術研究所、以下防災科研と略する）は3坑の基盤に達する地殻変動観測井を掘削し、地下に分布する厚い堆積層と基盤の物性について新たなデータを提供した（例えば、高橋ほか, 1983）。さらに、これらの坑井データ等を制約条件として、重力ブーゲー異常を解析した基盤深度分布図が提示された（駒澤・長谷川, 1988）。その後、1995年の阪神・淡路大震災を教訓として、関東平野の地震観測能力を強化するために2,000～3,000 m 級の地震観測井が多数掘削されるようになり（鈴木・小村, 1999）、また大学や国立研究所、自治体などによって地震探査を中心とした地盤調査が数多くなされるようになった（例えば、笠原, 2001）。

これらの坑井や物理探査データにより、関東平野地下

* 平成15年2月1日、日本地質学会関東支部主催シンポジウム「関東地方の地質—最新成果と今後の課題—」で一部講演 This paper was partly presented at the Geological Society of Japan symposium entitled “Geology of the Kanto district: recent achievements and future problems” held in Tokyo, Feb. 1, 2003.

** 防災科学技術研究所固体地球研究部門 Solid Earth Science Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention.

*** 産業技術総合研究所地質情報研究部門 Institute of Geology and Geoinformation Geological Survey of Japan/AIST

における堆積層の分布モデルが提案されている。河井 (1961) および石井 (1962) は、主として房総半島の水溶性ガス井のデータを編集し、上総層群梅が瀬層上限の構造等高線図を示した。また、鈴木ほか (1983) は上総層群各層の等層厚線図を作成した。さらに地震観測井のデータが増加した1990年代以降には、平野地下の新第三系について三浦層群、上総層群および下総層群それぞれの等層厚線図が作成された (鈴木, 1996; 2002)。これらの等層厚線図は、関東平野の強震動予測をする際、地震波速度構造を仮定するのに用いられている (例えば, Sato *et al.*, 1999など)。

一方、関東平野周辺に分布する中新統は、近年の層序学的研究の高精度化により、中期中新世前期 (およそ15 Ma) の広域不整合 (庭谷不整合: 大石・高橋, 1990) を境に下位の“N.8層”と上位の“post N.8層”に2分されることが明らかにされた (例えば, 高橋, 2003; 栗原ほか, 2003)。両者は分布の広がりや堆積相, 堆積速度さらに変形の程度が著しく異なることから、庭谷不整合を挟んでテクトニックセッティングが急変したことが推定される。これを受け、林ほか (2004) では関東平野で掘削された16坑井について微化石層序を総括し、平野地下に分布する中新統を2分した。関東平野の構造発達

図1 本研究で用いた主要坑井, 反射法地震探査の測線, および図2における南北・東西断面測線の位置図。コンターは鈴木 (2002) による基盤深度を示す。太実線で示した反射法地震探査の出典は以下のとおり。1: 山口ほか (1996); 2: 山口ほか (2000); 3: 石田ほか (1993); 4-6: 笠原 (2001); 7, 8: 笠原ほか (1994); 9, 10: 中山ほか (2000); 11: 山水ほか (1995); 12: 川崎市 (2001); 13, 14: 横浜市 (2001); 15, 16: 川崎市 (2001); 17: 山口ほか (1994); 18: 山口ほか (2002); 19-24: 千葉県 (2001); 25: 川崎ほか (2001); 26: 石油公団 (2000)。

表1 本研究で用いた坑井資料の一覧。深度はすべて海水準を0mとした値で示す(ただし、

番号	孔井名	標高(m)	掘止深度(m)	基盤上面	Post N.8層基底	上総層群基底	下総層群基底	文献
1	藤岡GS-1	71.2	2933	-	-	524	209	福田(1964)
2	伊勢崎観測井	57	1983	-	-	467	?	鈴木・小村(1999)
3	館林観測井	20	1215	576	576	389	130	鈴木・小村(1999)
4	真岡温泉井	?	1536	-	1159	?	?	ももか鬼怒公園開発株式会社(私信)
5	真岡観測井	68	1670	-	1090	575	57	鈴木・小村(1999)
6	南河内温泉井	?	1500	-	1240	507.2	?	栃木県立博物館(私信)
7	結城R-1	35.5	1108.1	-	984	557	242	鶴田(1964)
8	結城R-2	35	1423	-	970	590	243	鶴田(1964)
9	結城R-3	31.9	1057.8	-	977	600	244	鶴田(1964)
10	結城R-4	32.8	1205.5	-	1070	566	?	鶴田(1965)
11	結城R-5	33.8	1204	-	1107	584	?	鶴田(1965)
12	石下観測井	16	887	502	-	502	?	池田・塚原(1987)
13	防災科研つくば	25	575	385	-	385	?	塚原ほか(1983)
14	地理院つくば	25	790	462	-	462	36	多田(1983)
15	応用地質実験井	25	1325	597	-	597	?	三本ほか(2000)
16	新利根R-1	3	836	810	-	810	137	石井(1962)
17	江戸崎観測井	2	1232	663	-	663	121	鈴木・小村(1999)
18	大洋観測井	40	1192	-	361	361	25	鈴木・小村(1999)
19	鹿島沖SK-1	-38	2159	1638	682	532	?	米谷ほか(1981)
20	潮来温泉井	33	1667	-	-	?	?	鈴木(2002)
21	鹿島KT-1	5	905	882	-	565	?	石井(1962)
22	波崎観測井	4	801	-	-	441	45	塚原・池田(1986)
23	霞ヶ浦観測井	25	514	428	-	428	109	*Kik-net Web
24	八千代温泉井	?	1500	-	-	-	1050	(財)八千代町ふるさと公社(私信)
25	下妻温泉井	?	1488	1040	?	?	?	下妻市農林課(私信)
26	鉾田温泉井	?	1250	-	900	560	300	(財)鉾田健康ふれあい財団(私信)
27	大洋温泉井	?	1050	?	500	350	100	茨城温泉開発株式会社(私信)
28	明野温泉井	?	1500	253	-	-	253	明野町施設課(私信)
29	GSJつくば	24	751.5	525	-	501	31	三本ほか(2000)
30	筑波大学2号井	26	500	409.1	-	409.1	21	佐藤ほか(1980)
31	北本温泉井	23	977	-	-	207	?	福田ほか(1988)
32	春日部GS-1	5.4	3098	3067	1670	1036	206	福田(1962)
33	岩槻観測井	8.5	3501	2888	2271	1030	226	高橋ほか(1983)
34	松伏SK-1	4.5	2001	1595	1544	993	365	城戸(1964)
35	草加R-2	3.1	1583	-	-	1207	202	福田ほか(1988)
36	草加R-1	2.2	1798	-	-	1308	528	河井(1961)
37	日高観測井	51	1782	-	1450?	409	59	鈴木・小村(1999)
38	飯能温泉井	90	1000	-	-	?	?	中里(1992)
39	所沢観測井	21	2013	-	-	974	45	鈴木・小村(1999)
40	瑞穂試錐	142	260	228	-	228	-138	川島ほか(1985)
41	武蔵村山試錐	124.4	579	537	-	537	?	川島・川合(1980)
42	昭島試錐	119	302	269	-	259	?	川島ほか(1990)
43	武蔵村山温泉井	130	1370	-	-	510?	?	中山ほか(2000)
44	東大和試錐	97.3	605	-	-	-	-17	川島・川合(1977)
45	東村山試錐	64	643	-	-	-	-17	川島・川合(1983)
46	東久留米観測井	39.7	969	-	-	-	129	川島・遠藤(1972)
47	立川試錐	74.5	929	896	-	792	-66	遠藤ほか(1978)
48	八王子試錐	109	592	572	-	572	-100	川島ほか(1984)
49	府中観測井	45	2738	1977	-	1449	-	鈴木・高橋(1985)
50	江戸川ER-10	3	2049	-	-	1689	289	河井(1961)
51	江東観測井	7	3023	2572	2572	936	108	鈴木(1996)
52	野田R-1	7.5	1123	1029	-	1029	232	福田ほか(1974)
53	流山NP-1	3.25	1522	1479	-	1247	186	福田ほか(1988)
54	下総観測井	22.8	2307	1491	1491	1266	182.2	鈴木・高橋(1983)
55	船橋FR-18	7.2	2100	2064	2064	1870	473	福田ほか(1974)
56	船橋観測井	2.9	2143	2136	2136	1917	451	榎井ほか(1972)
57	八千代台R-1	27	1676	-	-	-	423	石和田ほか(1962)
58	小見川R-1	0.4	662	658	-	658	50	石井(1962)
59	成田観測井	12	1324	860	-	860	158	鈴木・小村(1999)
60	成田R-1	7	1046	1011	-	1011	143	石井(1962)
61	霞田R-1	41.06	908	897	-	897	?	菊池(1963)
62	多古R-1	6.95	819	818	-	818	8	石井(1962)
63	旭R-1	5.5	736	733	-	733	?	河井(1961)
64	旭R-2	3.54	560	545	-	545	?	河井(1961)
65	飯岡R-1	5	396	395	-	395	?	石和田ほか(1962)
66	佐倉R-1	3.3	1519	1507	-	1507	267	菊池(1963)
67	八街R-2	46	1949	1943	1943	1846	224	河井(1961)
68	成東R-2	7.5	1999	1993	1993	1899	*	石和田ほか(1962)
69	蓮沼TR-1	2	1444	1429	1429	1359	*	河井(1961)
70	西街道R-1	?	2000	-	-	-	460	菊池(1963)

坑口標高が不明の坑井は掘削深度のみ). KiK-net Web: <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>

番号	井名	標高(m)	掘削深度(m)	基盤上面	Post N.8層基底	上総層群基底	下総層群基底	文献
71	千葉P-1	37	1924	-	-	-	463	樋口・斎藤(1965)
72	千葉FR-10	?	2000	-	-	-	250	横井ほか(1975)
73	千葉HA-10	?	1980	-	-	-	290	横井ほか(1975)
74	千葉MITI-2000	?	2000	-	-	-	290	横井ほか(1975)
75	千葉観測井	65	1976	-	-	-	95	鈴木・小村(1999)
76	八幡K-6	?	2000	-	-	-	?	石和田ほか(1962)
77	五井R-1	?	1305	-	-	-	300	河井(1961)
78	鷺OT-1	?	1926	-	-	-	-	樋口(1964)
79	富津観測井	4	2037	-	-	816	44	鈴木・小村(1999)
80	大佐和GS-1	10.8	2541	-	2000	279	-	石和田・三梨(1965)
81	市原観測井	92	1942	-	-	1556	-	鈴木・小村(1999)
82	銚子中観測井	1.7	528	142.3	-	73.9	?	*KiK-net Web
83	柏温泉井	?	1300	1283	-	1283	285	(株)特殊プラント工業(私信)
84	豊住R-1	5	875	849	-	-	-	駒沢・長谷川(1988)
85	相模原温泉井	104	1396	1351	-	141	-61	小沢ほか(1999)
86	厚木観測井	13	1824	-	-	171	127	鈴木・小村(1999)
87	横浜観測井	62	1983	-	-	938	-42	鈴木・小村(1999)
88	川崎GS試験	2.5	1013	-	-	698	28	福田ほか(1976)
89	磯子R-4	3	1407	-	-	1051	?	菊池(1964)
90	藤沢温泉井	9	1194	-	-	-	-	小沢ほか(1999)
91	逗子温泉井	32	1568	-	1268	-	-	小沢ほか(1999)
92	川崎観測井	4.7	609	-	-	-	103.3	田中ほか(1978)

史を理解するには、各地層の等層厚線図を作成することが有効な手法である。しかし、鈴木(2002)の等層厚線図は中新統全体を「三浦層群相当層」として一括していることから、平野の地下地質についても庭谷不整合により“N. 8層”と“post N. 8層”に細分することが必要である。

本稿では、陸上地質において指摘された“N. 8層”と“post N. 8層”の細分の重要性を念頭に、これまでに関東平野で掘削された主要な坑井データをコンパイルし、物理探査のデータと合わせて総合的に解析することによって、関東平野地下における堆積層の新たな分布モデルを作成した。併せて、堆積層の分布形態が制約する平野の基盤地質構造について現状と課題を報告する。

2. 解析に用いたデータ

解析に用いたデータは、関東平野で行われた比較的掘削深度の大きい坑井の柱状図、地震探査データ、および重力探査データである。これらの既存データの多くはすでに鈴木(2002)により詳細に総括されているが、関東地方に露出する新第三系の年代層序学的進展(高橋, 2003; 林ほか, 2004)を考慮し以下のとおり改訂した。

関東平野の周辺丘陵部に分布する新第三系では、前期鮮新世の黒滝不整合(小池, 1951)と中期中新世初期の庭谷不整合(大石・高橋, 1990)が広域にわたって追跡される(高橋, 2003)。これらの不整合は平野地下にも連続していると予想され、林ほか(2004)では関東平野下に分布する新第三系を大きく3つの層序ユニット、すなわち下位から“N. 8層”(約16~15 Ma)、“post N. 8層”(約15~3 Ma)および上総-下総層群相当層(約3 Ma以降)に区分し、それぞれの特徴が地表地質と調和

的であることを示した。本稿ではさらに、岩相に基づいて上総層群と下総層群を区別し、合計4つの層序ユニットに細分した。なお、林ほか(2004)では“post N. 8層”の分布形態と堆積速度の変化に着目し、この層序ユニットがさらに上部と下部に分かれる可能性を指摘したが、微化石情報の無い坑井ではこの両者の区分は困難であるため、本稿では一括して扱う。

また、本稿では、新たに18カ所の坑井データを収集した。これらの坑井では、カッティングスなどによる岩相柱状図、比抵抗、自然電位および音波検層などの坑内検層、微化石などによる年代や古環境推定などのデータが取得されている。本稿では、まず微化石年代を優先し坑井の地層を区分した。一方、微化石データが無い坑井では、主に比抵抗検層の曲線を用いて、微化石データが報告されている周辺の坑井と対比した。検討に用いた全坑井の地層区分データを表1に、その位置を図1に示す。また、大局的な構造を把握する目的で、図1に示した反射地震探査、屈折法インバージョンに基づく基盤深度分布(額綱, 1995)、微動アレイ法による地震波構造解析(松岡・白石, 2002)、および駒沢・長谷川(1988)の重力ブーゲー異常と重力基盤深度マップを参考にした。

3. 関東平野の堆積層断面

堆積層の深度分布を概観するため、詳細な微化石年代が決定されている10坑井を東西および南北方向に対比し、関東平野地下の模式的な地質断面図を作成した(図2)。用いた坑井は、林ほか(2004)が議論した防災科研の観測井9カ所、および米谷ほか(1981)によって生層序データが得られている鹿島沖SK-1である。各地層を

南北断面

東西断面

図2 坑井の対比による関東平野の東西・南北断面。測線の位置は図1で示した。断面の縦軸は海水準を0mとした深度で表示した。坑井間の対比に用いた等年代線(単位はMa)はすべて石灰質ナノ化石の生層準であり以下のとおり(林ほか, 2004)。上位から, *Pseudoemiliana lacunosa* の終産出(LO)(0.41Ma), *Reticulofenestra asanoi* のLO(0.85Ma), *Gephyrocapsa* spp. (Large)のLO(1.21Ma), 同じくFO(1.45Ma), *Gephyrocapsa caribbeanica* の初産出(FO)(1.73Ma), *Discoaster tamalis* のLO(2.74Ma), *Reticulofenestra pseudoumbilicus* のLO(3.85Ma), *Gephyrocapsa* spp. (small)のFO(4.3Ma), *Discoaster quinquerramus* のLO(5.6Ma), *Discoaster berggrenii* のFO(8.6Ma), *Cyclicargolithus floridanus* のLO(11.8Ma), *Sphenolithus heteromorphus* のLO(13.6Ma), CN3/CN4化石帯境界(15.6Ma)。

詳細に対比するため、林ほか（2004）で認定された生層準を等年代線として示した。

堆積層断面の特徴は以下のとおりである。

- 1) “post N.8 層” およびその上位の地層は比較的広範囲に分布する。東西断面の東京都江東から茨城県江戸崎にかけての区間では、南西から北東に向かって基盤が徐々に浅くなると推定されているが（鈴木, 2002）、それに伴って“post N.8 層”と上総層群の層厚が薄くなり、各々の生層準が下位から順に尖滅している。江戸崎では“N.8 層”および“post N.8 層”を欠き、上総層群相当層が基盤を直接覆っている。
- 2) “N.8 層”は、南北断面では岩槻付近から北側、東西断面では茨城県大洋付近にのみ見られる。これらの地域では基盤深度が深くなっており、厚い“N.8 層”が局在して基盤の大きな構造差を埋積しているものと考えられる。

このように、関東平野における堆積層の垂直分布形態は“N.8 層”と“post N.8 層”を境に大きく異なっている。この特徴は、地震波構造調査による反射断面とも明瞭に対比できる。例えば、防災科研によって行われた埼玉県東部の反射断面（KAN-94、鴻巣-朝霞測線；笠原, 2001）を周辺の日高や所沢などの坑井を参照しながら解釈すると、ほぼ水平に成層した上総層群相当層および“post N.8 層”の下位に、非対称の三角形の断面をし

た“N.8 層”の分布が認められる（図3）。この楔形の構造は典型的な“N.8 層”である秩父盆地（高橋, 1992）のハーフグラベン構造に形状・規模が類似し、共通の成因が示唆される。

4. 関東平野の堆積層水平分布

林ほか（2004）の層序区分に基づき、“N.8 層”、“post N.8 層”、上総層群相当層、下総層群相当層それぞれについて等層厚線図を作成した。上総層群相当層および下総層群相当層については鈴木（2002）におおむね準じているが、新たな坑井データにより一部改訂した。なお、本稿における層厚は堆積物の鉛直方向の厚さを示すため、地層の層序方向の厚さとは異なる見かけの厚さである。地層の傾動が軽微な“post N.8 層”から上位の地層では両者はおおむね一致するが、変形に伴い傾斜している“N.8 層”については傾斜角に対応して見かけの層厚が地層の厚さに対して過大に見積もられることに留意が必要である。

4.1 “N.8 層”の分布

坑井および一部地震探査のデータを用いて“N.8 層”の等層厚線図を作成した（図4）。コア試料の観察および坑内検層の結果（鈴木・小村, 1999など）によると、“N.8 層”を構成する堆積岩類は一般に硬質で、物性的に基盤岩類とのコントラストがあまり大きくない。したがって、物理探査による“N.8 層”基底の認定はその上

図3 鴻巣-朝霞測線（測線位置は図1の5）における反射法地震探査の深度マイグレーション断面（笠原, 2001を一部改変）。近隣の坑井資料（北本温泉井, 日高観測井, 所沢観測井）を参考にして反射波を解釈した。

限の認定に比べて困難であることが予想されたため、本稿では地震探査のデータを用いる際に、反射法地震探査、屈折法地震探査や微動アレイ探査による速度境界に対し、周辺の坑井データを用いて“N.8層”の上限を認定し、鈴木（2002）による先新第三系基盤深度までの堆積物の厚さを層厚とした。

“N.8層”は、(1)烏山-菅生沼断層以西で関東山地と足尾山地に挟まれた地域、および、(2)茨城県大洋村付近の大きく2つの範囲に分かれて分布する（図4）。とくに(1)では、しばしば層厚が2,000mを超えて局所的に分布するが、基盤に達している坑井が少ないため、さらに厚く発達している可能性が高い。また、隣接する坑井間で基盤深度が大きく異なる場合（しばしば1,000m以上）、基盤深度が深い坑井では“N.8層”が見られるが、浅い

坑井ではほとんど欠いている（例えば、岩槻と松伏 SK-1）。このことは、両者の間に“N.8層”の堆積盆を限る境界断層が伏在していることを示唆する。

これらの地下における“N.8層”分布地域は、地表に露出する“N.8層”に連続している。すなわち、(1)関東山地東側の“N.8層”は群馬県富岡地域（大石・高橋、1990）や埼玉県企丘陵（須藤ほか、2002）に露出する“N.8層”分布域と、また(2)大洋村付近の“N.8層”はその北方の棚倉構造線沿いに露出する“N.8層”堆積盆（大槻、1975）に連続する。

4.2 “post N.8層”の分布

坑井データと地表地質、基盤深度を制約条件として、“post N.8層”の等層厚線図を作成した（図5）。“post N.8層”は平野下に広く分布しているが、千葉県北東部

図6 下館測線（測線位置は図1の17）における反射法地震探査の深度マイグレーション断面（山口ほか、1994）。

から茨城県筑波山地周辺にかけての地域には分布していない。この非分布域の西縁はほぼ烏山-菅生沼構造線に一致し、そのすぐ西側の地下には1,000 m 以上の“post N.8 層”が分布することから、烏山-菅生沼構造線は“post N.8 層”の東縁を限る西落ち断層であると推察される。実際、烏山-菅生沼構造線を横切る反射法地震探査の断面（山口ほか，1994）をみると，“post N.8 層”の上限に相当すると思われる往復走時 0.3～0.7 秒付近の西傾斜反射面（反射面 3）が認められる（図 6）。この反射面 3 より下位の地層は反射波でみると構造線近傍で西に急傾斜し、また下位の地層ほど傾きを増している（12°から30°まで）。反射面 3 よりも上位の地層は上総層群と考えられるが、地層はほぼ水平かわずかに西傾斜するのみであり、反射面 3 にオンラップしている。したがって、烏山-菅生沼構造線の主要な活動時期は“N.8 層”堆積時であり、その後“post N.8 層”堆積中にも継続して西落ちに活動し、遅くとも上総層群堆積時までは活動が終了したものと推定される。

“post N.8 層”が最も厚く分布している所は房総半島南部から神奈川県横浜付近にかけての地域であり、2,000 m を超える層厚が推定される。これらは房総半島に分布する前弧海盆堆積物である木ノ根層、天津層、清

澄層、安野層と分布が連続することから、フィリピン海プレート沈み込みに伴う当時の前弧海盆を埋積した堆積物が地下に連続しているものと考えられる。一方、足尾山地と関東山地あるいは八溝山地の間に分布する“post N.8 層”の大部分は中部中新統であり、火山弧（volcanic arc）と非火山性外弧（outer arc basement high）の間に形成された弧間堆積盆（intra-arc basin）を埋積した地層であり、房総半島に発達する“post N.8 層”とは別個の堆積盆に帰属すると考えられる（林ほか，2004）。

4.3 上総層群相当層の分布

最近報告された坑井および反射法、微動アレイ法のデータをもとに、鈴木（2002）による上総層群相当層の等層厚線図を一部修正した（図 7）。上総層群基底は顕著な傾斜不整合面（黒滝不整合；小池，1951）を形成することから、坑井の微化石分析や反射法地震探査などによって識別が可能である。なお、上総層群相当層としては、北関東地域の飯能礫層と境林礫層などの非海成堆積物も含まれる。

上総層群相当層は、関東平野全域にわたって広く分布している。最も厚く堆積している地域は房総半島中央部から東京湾奥部、さらに神奈川県北東部にかけてで、層

図 7 上総層群相当層の層厚分布（鈴木ほか，2002を一部改訂）。層厚の単位は m。

厚は1,500 m を超える。この堆積盆の形態は WNW-ESE 方向に伸びた楕円形を示し、葉山-嶺岡隆起帯のトレンドと一致することから、フィリピン海プレートの沈み込みに規制された前弧海盆として成長したことが推察される。

4.4. 下総層群相当層の分布

新たに得られた坑井データによって、鈴木 (2002) による下総層群相当層の等層厚線図を微修正した (図8)。なお、ここで下総層群相当層とした地層は、それより上位の河川成砂礫層やローム層等を区別していない。上総層群と下総層群の境界については、不整合であるという説 (長沼不整合; 三梨, 1968, 1973) と局所的な削り込みであるとする異論 (徳橋・遠藤, 1983) がある。いくつかの反射法地震探査断面を見ると、両者の境界と思われる深度にはしばしば軽微な反射波の斜交が認められるが、これが広域不整合なのか、シーケンス境界やチャネルなどの削り込みの1つなのか区別することは困難である。坑井試料の微化石分析においても、この両層群の境界を正確に認定することは非常に難しい。遠藤ほか (1991) は、東京都江戸川区の坑井 GS-ED-1 について古地磁気・石灰質ナノ化石層序を総合的に検討し、東京湾岸地域における上総・下総両層群の境界が従来よりも

浅くなることを示した。本稿では原則として坑井の原記載者による地層区分に従ったが、層厚見積りについて多少の不確定性が含まれている可能性がある。

下総層群相当層の分布は上総層群相当層とおおむね一致するが、その最大沈降部は東京湾北東部周辺である。層厚200 m 以上の地域は、千葉市付近から北西方向へ細長く分布し、草加を通して春日部付近まで達する。これは下末吉面高度分布などに見られるような、更新世以降の沈降域 (貝塚, 1974 など) と大局的に一致している。

5. おわりに

関東平野に掘削された92坑の坑井データをコンパイルし、最新の層序学的知見をもとに、関東平野堆積層の模式地質断面図を提唱した。また、坑井データと併せて各種物理探査データを総合的に解釈することにより、堆積層の水平分布を明らかにした。その結果、約15 Ma の庭谷不整合を境にして堆積層の分布形態が大きく異なることが明確になった。すなわち、庭谷不整合より下位の“N. 8 層”は局所的に厚く分布し、地下に分布する堆積盆の形態や大きさは地表に露出する“N. 8 層”堆積盆のハーフグラベン構造に類似する。一方、庭谷不整合より上位の“post N. 8 層”や上総層群相当層、および下

図8 下総層群相当層の層厚分布 (鈴木ほか, 2002を一部改訂)。層厚の単位は m。

図9 関東平野地下地質の模式断面図。断層で境された“N.8層”は局所的に分布するが、“post N.8層”から上位の地層は比較的広域を一樣に被覆する。“N.8層”の構造は庭谷不整合の形成に起因したテクトニックな変形による(大石・高橋, 1990)。

総層群相当層は、より広域に分布している。これらの分布様式は関東地方の地表地質から指摘された特徴に一致し、関東平野の地下地質においても庭谷不整合形成時が大きなテクトニクス上の変換点であるとの考え方が支持される(図9)。

ところで、地表地質に基づく“N.8層”は引張応力場のもとで形成されたハーフグラベン群であり、日本海の拡大に関連し起伏を伴いつつ急激に島弧が沈降(mechanical subsidence)したものと解釈されている(山路・佐藤, 1989)。一方、“post N.8層”は前弧海盆または弧間堆積盆を埋積した地層と考えられ、日本海拡大後の島弧の熱的沈降(thermal subsidence)との関連が推定されている。関東平野の地下地質を複雑にしているのは、局所的に発達する“N.8層”であり、とくに“N.8層”堆積盆を限る境界断層により基盤深度は急激に変化する。したがって、関東平野の地下地質を理解するためには、平野部におけるこれまでの地質学的・地球物理学的探査とともに、日本海の拡大までさかのぼった地表地質の研究と統合する視点が必要と考えられる。

謝 辞

本稿に際して、温泉井データは(株)特殊プラント工業、(株)茨城温泉開発、銚田健康ふれあい財団、下妻市役所、大洋健康づくり財団、明野町役場、八千代町ふるさと公社に閲覧させていただいた。坑井データの検討に際しては、宇都宮大学の阿久津純名誉教授、産業技術総合研究所の徳橋秀一博士、鈴木祐一郎博士、中澤 努博士、栃木県立博物館の青島睦治博士にご協力いただいた。産業技術総合研究所地質情報研究部門の山口和雄博士には、下館測線の反射法地震探査断面図をご提供いただいた。2名の匿名査読者には、本稿改善に役立つ数多くの建設的なご助言をいただいた。以上の方々および諸機関に厚く御礼申し上げる。

なお、本研究は文部科学省の新世紀重点研究創世プラン(RR 2002)による、大都市大震災軽減化特別プロジェクト(I)大都市圏地殻構造調査研究(研究代表者:東京大学地震研究所 平田 直教授)の大規模ボーリング調査の一部として行われた。

引用文献

- 千葉県, 2001: 関東平野(千葉県西部地域)の地下構造調査. 第2回堆積平野地下構造調査成果報告会予稿集, 49-58, 文部科学省.
- 遠藤秀典・上嶋正人・山崎俊嗣・高山俊昭, 1991: 東京都江戸川区GS-ED-1ボーリングコアの古地磁気・石灰質ナノ化石層序. 地質雑, 97(6), 419-430.
- 遠藤 毅・川島真一・川合将文, 1978: 立川市付近の地下地質. 昭和53年度東京都土木技術研究所年報, 367-377.
- 福田 理, 1962: 春日部層序試錐(予報)一坑井地質を中心として-. 地質ニュース, No. 100, 1-16.
- 福田 理, 1964: 藤岡層序試錐(予報)一坑井地質を中心として-. 地質ニュース, No. 114, 1-10.
- 福田 理・高橋 博・大八木規夫・鈴木宏芳, 1974: 坑井地質にみる関東平野の基盤. 地質ニュース, No. 234, 8-17.
- 福田 理・垣見俊弘・河内英幸・高木慎一郎・田中信一, 1976: 川崎地区水位水質観測井について(その1坑井編1). 地質ニュース, No. 259, 1-14.
- 福田 理・永田松三・鈴木宏芳, 1988: 関東平野の地下地質と地層流体. 地質学論集, No. 31, 5-40.
- 林 広樹・堀内誠示・高橋雅紀・笠原敬司, 2004: 関東平野地下に分布する新第三系の層序と対比. 石技誌, 69(4), 404-416.
- 樋口 雄, 1964: 千葉県ガス田地域における微化石層位学的研究. 東北大地質古生物邦報, No. 61, 1-48.
- 樋口 雄・斎藤 浩, 1965: 千葉県ガス田地域西部における微化石相に関する考察. 石技誌, 30(5), 261-268.
- 池田隆司・塚原弘昭, 1987: 関東・東海地域における水圧破壊法による地殻応力の測定一茨城県石下町, 山梨県芦川村一. 地震予知連絡会会報, 37, 179-183.
- 石田勝彦・佐々木俊二・井川 猛・熊井 基・足立幾久・武村雅之・山中浩明・小林啓美・嶋 悦三・瀬尾和大・入倉孝次郎, 1993: 広帯域地震動予測のための深部構造探査法研究. 地震学会講演予稿集, 2, 111-111.
- 石井基裕, 1962: 関東平野の基盤. 石技誌, 27(6), 405-430.
- 石和田靖章・樋口 雄・菊池良樹, 1962: 南関東ガス田の微化石層序. 石技誌, 27(3), 68-77.
- 石和田靖章・三梨 昂, 1965: 大佐和層序試錐. 地質ニュース, No. 133, 2-4.
- 貝塚爽平, 1974: 関東平野の島嶼における位置と第四紀地殻変動. 関東地方の地震と地殻変動, 99-118, ラティス.
- 笠原敬司・山水史生・井川 猛・足立幾久, 1994: 関東平野トランセクト一宮一青梅測線における平野部活断層の地震波反射断面図一. 日本地震学会講演予稿集, 2, 380-380.
- 笠原敬司, 2001: 首都圏のバイプロサイス地震波反射法による地下構造調査. 月刊地球号外, No. 34, 165-179.
- 河井興三, 1961: 南関東ガス田についての鉱床地質学的研究. 石技誌, 26(5), 1-55.
- 川崎市, 2001: 関東平野南部(川崎市)の地下構造調査. 第2回堆積平野地下構造調査成果報告会予稿集, 39-48, 文部科学省.
- 川崎慎治・笠原敬司・井川 猛・川中 卓, 2001: 関東平野成田市北方におけるバイプロサイス深部地下構造調査. 地球惑星科学関連学会2001年合同大会予稿集, S 2-P 011.
- 川島真一・遠藤 毅, 1972: 武蔵野台地北部の深層地質について. 昭和47年度東京都土木技術研究所年報, 101-115.
- 川島真一・川合将文, 1977: 東京都東大和市における層序試錐結果について. 昭和52年度東京都土木技術研究所年報, 393-407.
- 川島真一・川合将文, 1980: 武蔵村山市の地下地質. 昭和55年度東京都土木技術研究所年報, 225-234.
- 川島真一・川合将文, 1983: 東村山市における層序試錐結果と北多摩地区北部の帯水層の分布形態. 昭和58年度東京都土木技術研究所年報, 177-188.
- 川島真一・川合将文・遠藤 毅・石井 求, 1984: 八王子市付近の水文地質. 昭和59年度東京都土木技術研究所年報, 261-270.
- 川島真一・川合将文・遠藤 毅・石井 求, 1985: 瑞穂町付近の水文地質. 昭和60年度東京都土木技術研究所年報, 275-283.
- 川島真一・川合将文・遠藤 毅・石井 求, 1990: 武蔵野台地西部の水文地質. 平成2年度東京都土木技術研究所年報, 249-258.
- 城戸秀夫, 1964: 埼玉県松伏SK-1号井の地質及び関東中部の一地質断面について. 石技誌, 29, 191.
- 菊池良樹, 1963: 房総半島における上総層群の微化石層序. 石技誌, 28(4), 120-125.
- 菊池良樹, 1964: 南関東の新第三系及び第四系の微化石層位学的研究. 東北大地質古生物邦報, No. 59, 1-36.
- 小池 清, 1951: いわゆる黒滝不整合について. 地質雑, 57(667), 143-156.
- 駒澤正夫・長谷川功, 1988: 関東地方の重力基盤に見える断裂構造. 地質学論集, No. 31, 57-74.
- 縦縞一起, 1995: 首都圏の地下構造. 物理探査, 48(6), 504-518.
- 栗原行人・堀内誠示・柳沢幸夫, 2003: 埼玉県岩殿丘陵地域に分布する中新統の岩相層序と珪藻・石灰質ナノ化石層序. 地質雑, 109(4), 215-233.
- 米谷盛壽郎・井上洋子・秋葉文雄, 1981: 6. 鹿島灘. 土隆一編: 日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基本資料「続編」, 13-17, IGCP-114 National working group of Japan.
- 松岡達郎・白石英孝, 2002: 関東平野の深部地下構造の精査を目的とした微動探査法の適用性一埼玉県南部地域の三次元S波速度構造の推定一. 物理探査, 55(2), 127-143.
- 三本健四郎・山根 誠・吉田 浩・岡野 肇・妹尾洋一・原 郁夫, 2000: つくば技術開発センター1350

- m ボーリングコアの地質学(1)基盤岩類の地質概観. 応用地質技術年報, No. 20, 43-86.
- 三梨 昂, 1968: 三浦・房総半島の地質構造と堆積構造(層序概説). 日本地質学会見学旅行案内書, 4-13.
- 三梨 昂, 1973: 南関東・新潟地区における中新世から洪積世にいたる堆積盆地の変遷. 地球科学, 27, 48-65.
- 中里 薫, 1992: 飯能市入間川右岸から温泉湧出. 新版埼玉県地学のガイド, 95-96, コロナ社.
- 中山俊雄・川島真一・川合将文・三梨 昂・佐藤時幸, 2000: 立川断層の活動史. 日本地質学会第107年学術大海講演要旨, 103-103.
- 楡井 久・樋口茂生・原 雄・石井 皓・白井常之・古野邦雄・真鍋健一・立石雅昭, 1972: 船橋市地域の地下地質と地盤沈下観測井. 千葉県公害研究所研究報告, No. 1, 47-74.
- 楡井 久・樋口茂生・原 雄・古野邦雄, 1975: 東京湾地下における上総層群中の不整合現象について. 地質雑, 81(9), 559-565.
- 大石雅之・高橋雅紀, 1990: 群馬県高崎地域に分布する中新統一とくに庭谷不整合形成過程について. 東北大地質古生物研報, No. 92, 1-17.
- 大概憲二郎, 1975: 棚倉破砕帯の地質構造. 東北大地質古生物研報, No. 76, 1-70.
- 小沢 清・江藤哲人・大山正雄・長瀬和雄・松沢親悟, 1999: 温泉掘削井による神奈川県中央部の地下地質. 神奈川温泉地学研報, 30, 41-52.
- Sato, T., Graves, R.W. and Someville, P.G., 1999: Three-dimensional finite-difference simulations of long-period strong-motions in the Tokyo metropolitan area during 1990 Odawara Earthquake (Mj 5.1) and the Great 1923 Kanto Earthquake (Ms 8.2) in Japan. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89(3), 579-607.
- 佐藤 正・新藤静夫・青木直昭・市川正巳・榎根 勇・田中 正・小沼直樹・海老原寛, 1980: 筑波地区における深層地質および深層地下水の地球科学的研究—その2—. 筑波の環境研究, 5A, 1-8.
- 石油公団, 2000: 平成10年度国内石油天然ガス基礎調査. 海上基礎物理探査「房総沖浅海域」調査報告書.
- 須藤 斎・柳沢幸夫・高橋雅紀, 2002: 中新世珪藻化石による埼玉県比企丘陵(荒川, 植松橋付近)の不整合の再検討. 石技誌, 67(5), 501-511.
- 鈴木宏芳, 1996: 江東深層地殻活動観測井の地質と首都圏地域の地質構造. 防災科研報, No. 56, 77-123.
- 鈴木宏芳, 2002: 関東平野の地下地質構造, 防災科研報, No. 63, 1-19.
- 鈴木宏芳・小村健太郎, 1999: 関東地域の坑井データ資料集. 防災科学研究資料, No. 191, 1-80.
- 鈴木宏芳・高橋 博, 1983: 下総深層地殻活動観測井の作井と地質. 防災科学センター速報, No. 48, 1-61.
- 鈴木宏芳・高橋 博, 1985: 府中地殻活動観測井の作井と坑井地質. 防災科技センター速報, No. 64, 1-84.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎・三梨 昂, 1983: 房総半島における上総層群の堆積と構造運動. 地調月報, 34(4), 183-190.
- 多田 堯, 1983: 筑波研究学園都市とその周辺地域の地下構造. 国土地理院時報, No. 58, 29-36.
- 高橋 博・福田 理・鈴木宏芳・田中耕平, 1983: 岩槻深層地殻活動観測井の作井と坑井地質. 防災科技センター速報, No. 47, 1-113.
- 高橋雅紀, 1992: 中部日本の新第三紀テクトニクスにおける中新世秩父盆地の地質学的位置. 埼玉県自然史博研報, No. 10, 29-45.
- 高橋雅紀, 2003: “N.8 層”と“post N.8 層”に二分される関東地域の第三系—庭谷不整合のテクトニクス. シンポジウム「関東地方の地質—最新成果と今後との課題—」論文集, 11-14, 日本地質学会関東支部.
- 田中耕平・高橋 博・鈴木宏芳・寺島美南子, 1978: 川崎微小地震観測井の坑井地質. 防災科技センター速報, No. 28, 1-73.
- 徳橋秀一・遠藤秀典, 1983: 千葉県「姉崎」地域の笠森層及び金剛地層—特に上総層群と下総層群の間の不整合問題に関連して—. 地調月報, 34(2), 59-80.
- 塚原弘昭・池田隆司・高橋 博, 1983: 水圧破壊法による地殻応力測定—山梨県都留市および茨城県筑波での測定—. 地震学会予稿集, 2, 107-107.
- 塚原弘昭・池田隆司, 1986: 関東・東海地域における水圧破壊法による地殻応力の測定—茨城県鹿島郡波崎町, 千葉県安房郡千倉町—. 地震予知連絡会会報, 35, 193-196.
- 鶴田均二, 1964: 結城市南方における地質学的諸問題と天然ガス徴候. 石油学会誌, 7(6), 401-405.
- 鶴田均二, 1965: 関東北部に於ける中新統中の不整合と天然ガス徴候. 石油学会誌, 8(2), 102-105.
- 山口和雄・木口 努・横田俊之・横倉隆伸, 1994: 茨城県下館市における反射法探査—先新第三系基盤までの地下構造. 地震 2, 47, 33-41.
- 山口和雄・加野直巳・横田俊之・横倉隆伸・木口 努, 1996: 反射法地震探査で見た埼玉県櫛引地域の地下構造. 地震 2, 49, 327-335.
- 山口和雄・加野直巳・横倉隆伸・木口 努・横田俊之・田中明子・佐藤比呂志, 2000: 深谷断層周辺における反射法地震探査. 地震 2, 53, 115-125.
- 山口和雄・加野直巳・横倉隆伸・田中明子・大滝嘉樹・伊藤 忍・横田俊之・松島 潤, 2002: 反射法で見た茨城県谷田部地区の高重力異常域の浅部地下構造. 物理探査学会第107回講演論文集, 147-153.
- 山路 敦・佐藤比呂志, 1989: 中新世における東北本州弧の沈降運動とそのメカニズム. 地質学論集, No. 32, 339-349.
- 山水史生・笠原敬司・井川 猛・足立幾久, 1995: 府中深層観測井付近における反射法地震探査. 地球惑星科学関連学会1995年合同学会予稿集, 636-636.
- 横浜市, 2001: 関東平野(横浜市地域)の地下構造調査. 第2回堆積平野地下構造調査成果報告会予稿集, 29-38, 文部科学省.