

東日本大震災後の節電効果及び外気温と電力使用の相関の分析

創造理工学専攻 環境都市コース 6164100028-0 西 哲平
(指導教員 近本智行)

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した国内観測史上最大となる東日本大震災により、世界最大規模となる福島第一原子力発電所事故が発生した。それに伴い深刻な電力不足が起こり、結果として各地で電力供給力が著しく落ち込み、節電及び電力ピークを抑制する対策が推進された(表 1、表 2)。直接被害を受けた東京電力管内では夏期において電力使用制限令が発令された(図 1^{文1)})。また間接被害として関西電力管内では原子力発電所の安全性への不安が社会的に高まり定期点検後、再稼働の目途が立たない状況となり夏期・冬期において節電要請が行われた(図 2)。しかし未だに東日本大震災後の電力使用の変化に関する詳細なデータ分析はほとんど行われていない。

一方、毎日の電力需要の変動はエアコンの使用量に依存するところがあり、外気温に応じた適切な節電対策が行われていたかを明らかにする必要がある。以上のことから本研究では外気温を考慮した上で、関西電力管内及び東京電力管内の電力使用量の実績データを分析し、震災後の節電効果の検証を行った。

2. 研究概要

研究フローを図 3 に示す。本研究では電力使用量の実績データを基に(1)最大電力の緩和の検証、(2)ピークシフトの検証、(3)外気温と電力使用の相関の分析を行い、震災後の節電効果の検証を行った。研究対象範囲を関西電力管内、及び東京電力管内とし、それぞれ 1 時間毎の電力使用量の実績データ^{注1)}文2)を使用した。また外気温については関西電力管内の代表点を大阪、東京電力管内の代表点を東京と設定し、1 時間毎のアメダス気象データを分析に使用した。対象期間は夏期を 7~8 月、冬期を 12~1 月とした。

3. 最大電力の緩和の検証

3-1. 分析概要

節電要請・電力使用制限令においては最大電力の削減が対象項目となっている。基準年とされている 2010 年度と比較し、2011 年度の日最大電力の緩和を検証した。

3-2 夏期結果

夏期の日最大電力の推移を図 4 に示す。関西電力・東京電力ともに 2011 年の電力使用量は 2010 年と比較するとかかなりの削減効果が確認できる。関西電力の 2010 年 7~8 月の最大電力は 3100 万 kW であったのに対し、2011

表 1 各電力会社の節電対策(夏期)

夏期	でんき予報	節電呼び掛け	節電要請	電力使用制限令
北海道電力				
東北電力	○			○
東京電力	○			○
北陸電力	○	○		
中部電力	○	○		
関西電力	○		○	
中国電力	○			
四国電力	○	○		
九州電力	○	○		

表 2 各電力会社の節電対策(冬期)

冬期	でんき予報	節電呼び掛け	節電要請	電力使用制限令
北海道電力	○			
東北電力	○	○		
東京電力	○			
北陸電力	○			
中部電力	○	○		
関西電力	○		○	
中国電力	○	○		
四国電力	○	○		
九州電力	○		○	

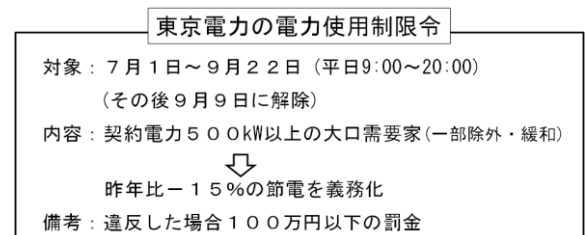


図 1 東京電力における夏期の電力使用制限令の概要

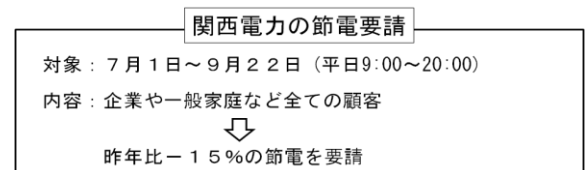


図 2 関西電力における夏期の節電要請の概要

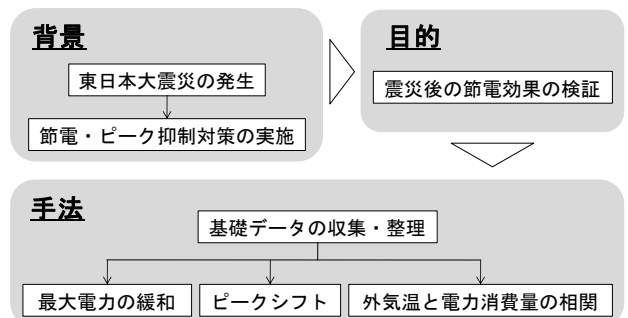


図 3 研究フロー

年は 2790 万 kW となっており、10%の削減となった。一方、東京電力の 2010 年 7～8 月の最大電力は 6000 万 kW であったのに対し、2011 年は 4920 万 kW となっており、18%の削減となった。また関西電力・東京電力がともに高い値を示した 8/8(月)～8/10(水)、8/18(木)はそれぞれ猛暑日もしくは熱帯夜となっており、気温が高いことが電力使用量の増加に影響を及ぼしていたことが分かった。

3-3 冬期結果

冬期の日最大電力の推移を図 5 に示す。夏期と比較すると関西電力・東京電力ともに大きな削減効果は見られない。関西電力の 2010 年度 12～1 月の最大電力は 2627 万 kW であったのに対し、2011 年度は 2448 万 kW となっており、7%の削減となった。節電要請の数値目標であった 10%削減には届いていない。一方、東京電力の 2010 年 12～1 月の最大電力は 5091 万 kW であったのに対し、2011 年は 4966 万 kW となっており、3%の削減となった。

4. ピークシフトの検証

4-1 分析概要

ピーク時間帯（ピーク～3 番目のピーク）の塗分け及び標本分散を用いてピークシフトを評価した。

4-2 夏期結果

東京電力の 2011 年度、2010 年度それぞれの 8 月の平日における 1 時間当たりの電力使用量を表 3、表 4 に示す。2010 年度に比べると、ピークの時間帯にばらつきが見られる。これは電力使用が特に高くなる 13 時～15 時の間に節電対策が重点的に行われ、その結果ピークシフトに繋がっていると推測できる。

図 6 に関西電力・東京電力それぞれの 8 月の時刻別電力使用量平均を示す。関西電力の 2010 年度の分散値^{注2)}は 189,162 であるのに対し、2011 年度の分散値は 125,033 となっており、やはり今年は電力使用が増える昼間の重点的な節電により変動幅が緩和されていることがわかる。また東京電力も同様に 2010 年度の分散値は 698,681 であるのに対し 2011 年度の分散値は 293,817 と低くなった。

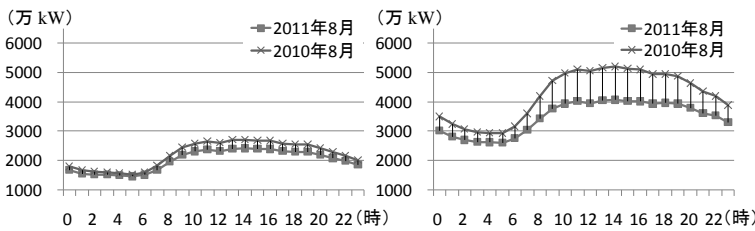


図 6 8 月の時刻別電力使用量平均 (左：関西電力、右：東京電力)

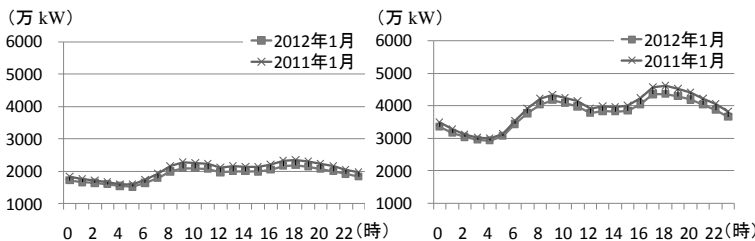


図 7 1 月の時刻別電力使用量平均 (左：関西電力、右：東京電力)

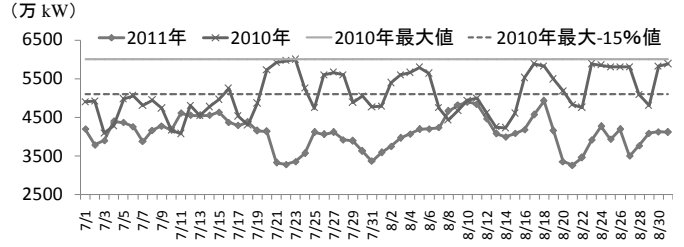
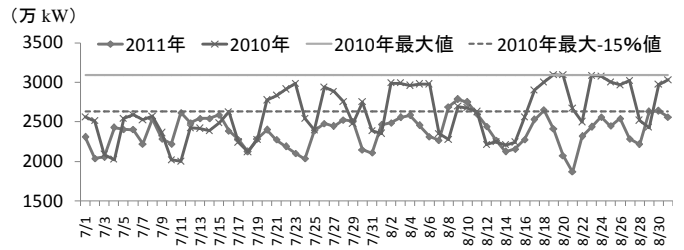


図 4 夏期の日最大電力の推移 (上：関西電力、下：東京電力)

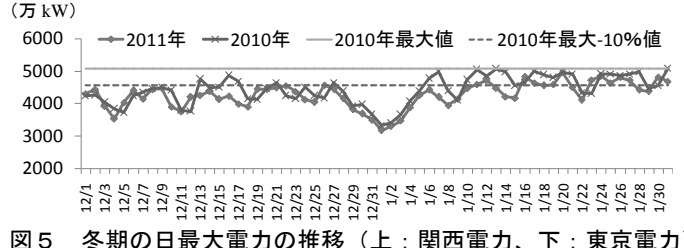
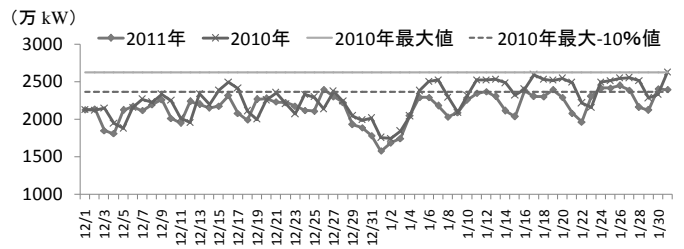


図 5 冬期の日最大電力の推移 (上：関西電力、下：東京電力)

表 3 東京電力 2011 年 8 月の電力使用量

8月	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21(時)
2011/8/1(月)	3124	3399	3510	3571	3453	3557	3578	3561	3586	3546	3556	3543	3407	3253
2011/8/2(火)	3227	3520	3656	3712	3594	3715	3738	3717	3750	3707	3712	3676	3551	3383
2011/8/3(水)	3360	3701	3873	3966	3829	3940	3933	3901	3924	3830	3822	3832	3710	3527
2011/8/4(木)	3449	3789	3936	4007	3908	4054	4067	4015	4026	3913	3884	3902	3762	3590
2011/8/5(金)	3494	3857	4029	4126	4011	4138	4186	4181	4188	4047	3999	3998	3853	3676
2011/8/6(土)	3732	4187	4398	4523	4458	4628	4662	4575	4501	4349	4335	4301	4139	3950
2011/8/7(日)	3862	4321	4534	4678	4612	4773	4817	4781	4749	4559	4515	4516	4351	4148
2011/8/10(水)	4049	4517	4731	4852	4769	4882	4900	4866	4830	4621	4550	4574	4408	4210
2011/8/11(木)	4037	4483	4681	4808	4743	4837	4775	4836	4580	4437	4400	4404	4239	4038
2011/8/12(金)	3673	4063	4250	4361	4345	4425	4384	4425	4384	4254	4238	4252	4099	3903
2011/8/13(土)	3469	3789	3865	3865	4051	4036	4046	4066	4046	3823	3868	3860	3659	3478
2011/8/14(日)	3443	3789	3973	4083	4111	4112	4117	4116	4140	4092	4132	4132	4039	3870
2011/8/17(水)	3671	4120	4321	4461	4430	4526	4566	4546	4534	4398	4412	4426	4262	4081
2011/8/18(木)	4010	4499	4716	4837	4787	4904	4922	4888	4863	4684	4686	4643	4439	4219
2011/8/19(金)	3863	4151	4117	4010	3728	3719	3679	3611	3600	3532	3528	3453	3321	3167
2011/8/22(月)	3046	3304	3373	3396	3235	3333	3347	3336	3381	3386	3452	3367	3237	3097
2011/8/23(火)	3158	3462	3615	3701	3602	3774	3855	3869	3876	3823	3868	3860	3659	3478
2011/8/24(水)	3471	3872	4047	4130	4030	4197	4236	4236	4225	4074	4073	3989	3834	3650
2011/8/25(木)	3459	3789	3899	3918	3730	3828	3862	3865	3908	3853	3852	3878	3717	3538
2011/8/26(金)	3513	3880	4066	4168	4079	4158	4114	3969	3910	3835	3814	3691	3533	3358
2011/8/29(月)	3342	3713	3881	3982	3888	4050	4091	4066	4052	3915	3940	3841	3668	3488
2011/8/30(火)	3377	3737	3902	3997	3906	4071	4122	4082	4048	3914	3978	3866	3702	3526
2011/8/31(水)	3355	3721	3899	4019	3913	4059	4114	4071	4084	4024	4116	4039	3891	3704

表 4 東京電力 2010 年 8 月の電力使用量

8月	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21(時)
2010/8/2(月)	4510	5079	5292	5396	5202	5339	5363	5300	5293	5118	5062	5006	4752	4464
2010/8/3(火)	4564	5122	5360	5483	5364	5519	5500	5529	5528	5310	5173	5112	4847	4558
2010/8/4(水)	4602	5185	5443	5598	5445	5579	5657	5698	5571	5344	5203	5167	4916	4602
2010/8/5(木)	4718	5348	5594	5710	5685	5718	5798	5717	5698	5475	5332	5280	4994	4684
2010/8/6(金)	4610	5184	5426	5569	5449	5580	5642	5529	5454	5175	5013	4934	4646	4356
2010/8/9(月)	3914	4383	4590	4671	4501	4615	4637	4602	4617	4496	4479	4443	4187	3934
2010/8/10(火)	4032	4522	4751	4851	4739	4872	4938	4868	4869	4707	4684	4607	4345	4082
2010/8/12(木)	4090	4592	4824	4933	4862	4949	4994	4904	4833	4646	4636	4631	4384	4106
2010/8/13(金)	3879	4326	4546	4618	4467	4377	4293	4225	4229	4171	4220	4233	4040	3841
2010/8/16(月)	3602	3958	4152	4196	4219	4219	4200	4130	4133	4129	4177	4141	3976	3775
2010/8/18(水)	4332	4894	5185	5360	5365	5432	5506	5468	5484	5344	5316	5231	5097	4828
2010/8/17(火)	4723	5374	5638	5785	5709	5821	5887	5788	5738	5494	5424	5329	5047	4745
2010/8/18(水)	4683	5333	5601	5742	5638	5761	5822	5690	5611	5415	5335	5185	4940	4592
2010/8/19(木)	4384	4927	5167	5315	5227	5401	5487	5369	5341	5159	5127	4965	4647	4351
2010/8/21(土)	4114	4639	4875	5013	4927	5113	5185	5105	5064	4879	4872	4733	4454	4176
2010/8/23(月)	4635	5316	5619	5778	5683	5818	5888	5797	5739	5493	5449	5313	5000	4700
2010/8/24(火)	4686	5338	5633	5790	5685	5819	5884	5770	5712	5462	5429	5235	4892	4588
2010/8/25(水)	4337	5285	5536	5700	5605	5732	5806	5738	5694	5445	5416	5231	4937	4628
2010/8/26(木)	4650	5280	5557	5702	5605	5758	5805	5750	5702	5465	5422	5258	4934	4606
2010/8/27(金)	4580	5192	5484	5654	5579	5738	5799	5712	5647	5372	5267	5042	4903	4578
2010/8/30(月)	4542	5205	5511	5693	5632	5775	5819	5757	5724	5504	5527	5358	5040	4734
2010/8/31(火)	4672	5316	5606	5756	5661	5812	5884	5819	5783	5588	5617	5442	5126	4802

4-3 冬期結果

東京電力の 2011 年度、2010 年度それぞれの 1 月の平日における 1 時間当たりの電力使用量を表 5、表 6 に示す。2010 年度と 2011 年度のピークの時間帯にはあまり変化は見られない。

図 7 に関西電力・東京電力それぞれの 1 月の時刻別電力使用量平均を示す。関西電力の 2010 年度の分散値は 56,924 であるのに対し、2011 年度の分散値は 42,838 となっており、やや変動幅が緩和されていることがわかる。また東京電力も同様に 2010 年度の分散値は 242,286 であるのに対し 2011 年度の分散値は 198,160 と低くなった。

5. 外気温と電力使用の相関の分析

5-1 概要

毎日の電力使用量はエアコンの使用に依存するところが大きく、外気温と電力使用の関係は深い。エアコン使用日だけでなく前日までの外気温が影響すると考え、当日を基準とした当日を含む過去 5 日間の外気温の影響を検証し、重み付けを行った。さらに算出した補正外気温を基に電力使用量との相関を分析した。

5-2 単回帰分析結果

2011 年度の 1 時間ごとの電力使用量（東京電力・関西電力）と 1 時間ごとの外気温（4 日前までの同時刻）のそれぞれの決定係数を求めた（図 8～図 9 注3）。4 日前までのそれぞれの外気温の電力使用量への影響は、一次関数的に減衰していくという特徴が見られた。夜間（21～翌日 8 時）に比べると昼間（9～20 時）の決定係数は高い値を示す傾向が見られた。また近似直線の傾きに注目すると、昼間（9～20 時）、夜間（21～翌日 8 時）のそれぞれに違った傾向が見られ、昼間はより当日の、夜間はより前日までの外気温の影響が大きいことが分かった。夏期においては比較的決定係数が高く、冬期においては夜間における決定係数が極めて低く外気温の変動の影響をほぼ受けずに電力使用が行われていたことが分かった。

5-3 重回帰分析結果

単回帰分析で求めた前日までの外気温の影響度を基に重回帰分析の変数増加法により、当日から 4 日前までの外気温をそれぞれ説明変数、電力使用量を目的変数とした回帰式を算出し、電力使用量と最も相関が高くなる時の補正外気温を求めた。表 7 に示す回帰式をそれぞれの分析に使用する補正外気温と定義する。

表 7 補正外気温の算出結果

		x	x-1	x-2	x-3	x-4
夏期	東京電力	昼間 74%	18%	9%	-	-
	関西電力	昼間 71%	21%	8%	-	-
冬期	東京電力	昼間 100%	-	-	-	-
	関西電力	昼間 78%	22%	-	-	-

表 5 東京電力 2011 年度 1 月の電力使用量

1月	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21 (時)
2011/1/2(月)	2977	3049	2943	2820	2731	2675	2636	2679	2912	3241	3303	3308	3288	3221
2011/1/3(火)	3026	3160	3112	2971	2863	2780	2725	2797	3067	3406	3474	3465	3431	3342
2011/1/4(水)	3425	3473	3380	3269	3181	3187	3204	3273	3516	3843	3889	3873	3827	3698
2011/1/5(木)	3868	4003	3933	3859	3651	3741	3736	3771	3977	4268	4265	4191	4092	3951
2011/1/6(金)	4241	4331	4318	4157	3854	3931	3904	3921	4138	4394	4372	4266	4127	3967
2011/1/6(月)	3672	3771	3687	3575	3431	3425	3402	3440	3682	4069	4130	4111	4062	3924
2011/1/7(火)	4215	4322	4225	4126	3880	4024	3992	4020	4230	4474	4432	4299	4155	3990
2011/1/7(水)	4212	4342	4188	4062	3794	3936	3959	4080	4373	4599	4586	4500	4387	4232
2011/1/7(木)	4405	4542	4444	4346	4062	4178	4160	4172	4413	4725	4721	4592	4459	4288
2011/1/7(金)	4419	4490	4325	4168	3853	3947	3918	3936	4142	4444	4438	4318	4183	4007
2011/1/7(土)	4363	4591	4579	4548	4346	4494	4490	4510	4704	4841	4767	4608	4451	4254
2011/1/7(日)	4407	4550	4405	4251	3952	4058	4044	4053	4279	4628	4641	4533	4400	4248
2011/1/7(月)	4411	4500	4355	4226	3930	4041	4029	4058	4272	4564	4563	4455	4333	4174
2011/1/7(火)	4379	4451	4307	4176	3923	4104	4137	4183	4386	4596	4583	4422	4286	4098
2011/1/7(水)	4554	4836	4884	4875	4650	4784	4773	4747	4861	4966	4855	4656	4474	4279
2011/1/7(木)	4363	4608	4564	4488	4240	4375	4362	4396	4584	4738	4691	4564	4451	4316
2011/1/7(金)	4416	4586	4545	4448	4193	4369	4374	4384	4571	4861	4851	4713	4564	4377
2011/1/7(土)	4494	4588	4421	4272	3987	4084	4069	4093	4301	4619	4647	4552	4437	4279
2011/1/7(日)	4447	4563	4447	4341	4076	4207	4207	4223	4413	4787	4917	4717	4594	4416
2011/1/7(月)	4537	4617	4463	4345	4082	4211	4206	4242	4424	4717	4730	4609	4472	4296
2011/1/7(火)	4464	4521	4532	4429	4140	4290	4240	4240	4430	4677	4624	4583	4429	4406
2011/1/7(水)	4529	4604	4464	4319	4012	4118	4099	4089	4257	4604	4686	4593	4484	4323

表 6 東京電力 2010 年度 1 月の電力使用量

1月	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21 (時)
2010/1/3(月)	3096	3181	3142	3063	3010	2962	2950	3005	3265	3598	3673	3667	3633	3511
2010/1/4(火)	3550	3654	3606	3484	3374	3343	3340	3387	3645	4034	4083	4046	3977	3824
2010/1/5(水)	4077	4218	4117	4034	3794	3800	3871	3936	4181	4585	4356	4259	4133	3955
2010/1/6(木)	4227	4398	4346	4273	4013	4183	4202	4252	4529	4788	4763	4650	4509	4323
2010/1/7(金)	4553	4739	4670	4558	4289	4424	4412	4443	4708	4995	4946	4803	4645	4431
2010/1/10(月)	3946	4110	4099	4026	3880	3889	3882	3939	4240	4686	4746	4694	4611	4442
2010/1/11(火)	4731	4904	4796	4676	4395	4522	4497	4489	4749	5059	5109	4864	4706	4481
2010/1/12(水)	4585	4704	4579	4451	4154	4277	4259	4293	4555	4862	4855	4728	4594	4400
2010/1/13(木)	4640	4797	4699	4579	4284	4416	4403	4455	4739	5080	5076	4932	4784	4545
2010/1/14(金)	4722	4859	4729	4587	4288	4305	4369	4403	4654	4938	4956	4813	4647	4438
2010/1/17(月)	4672	4783	4676	4544	4245	4355	4356	4394	4637	4994	5000	4863	4709	4505
2010/1/18(火)	4672	4750	4618	4483	4188	4311	4292	4304	4540	4894	4899	4765	4618	4404
2010/1/19(水)	4625	4718	4556	4421	4124	4248	4234	4251	4475	4812	4813	4695	4553	4337
2010/1/20(木)	4464	4710	4583	4459	4166	4300	4291	4315	4570	4944	4975	4842	4681	4471
2010/1/21(金)	4665	4807	4705	4587	4281	4385	4353	4399	4571	4913	4899	4752	4586	4375
2010/1/24(月)	4592	4848	4809	4712	4383	4473	4420	4419	4628	4930	4916	4766	4601	4376
2010/1/25(火)	4564	4839	4579	4455	4170	4304	4290	4315	4525	4972	4966	4783	4629	4406
2010/1/26(水)	4611	4707	4580	4443	4156	4297	4300	4359	4580	4872	4866	4743	4604	4393
2010/1/27(木)	4609	4708	4583	4453	4142	4285	4293	4363	4581	4891	4919	4789	4636	4432
2010/1/28(金)	4678	4811	4701	4573	4285	4393	4379	4396	4610	4967	4990	4862	4705	4479
2010/1/31(月)	4761	4901	4796	4677	4380	4488	4462	4465	4670	5036	5091	4964	4814	4610

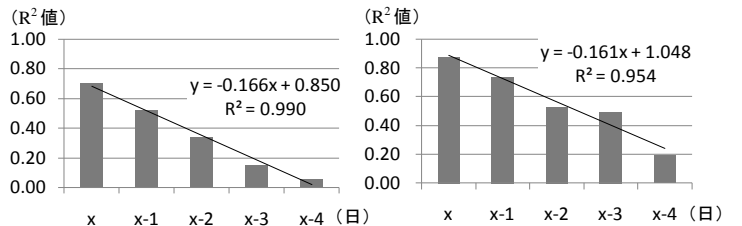


図 8 8 月昼間の決定係数（左：関西電力、右：東京電力）

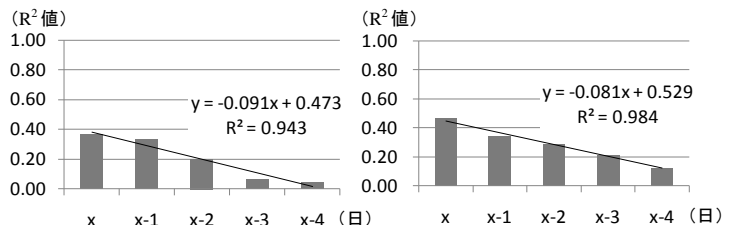


図 9 8 月夜間の決定係数（左：関西電力、右：東京電力）

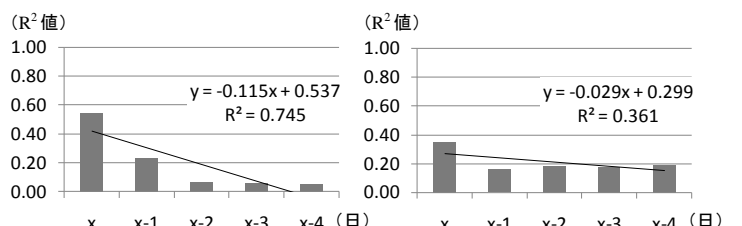


図 10 1 月昼間の決定係数（左：関西電力、右：東京電力）

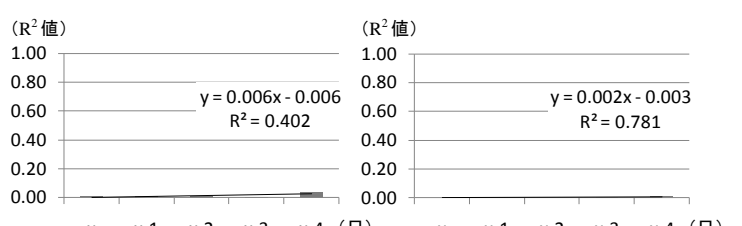


図 11 1 月夜間の決定係数（左：関西電力、右：東京電力）

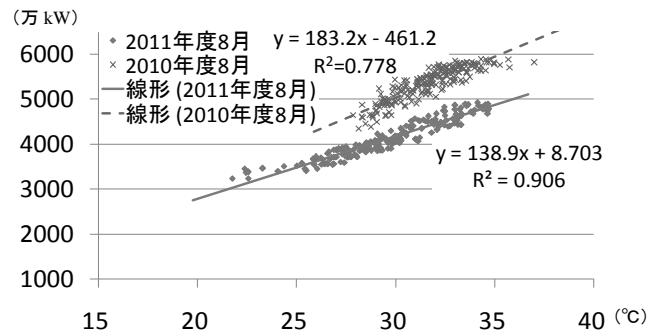
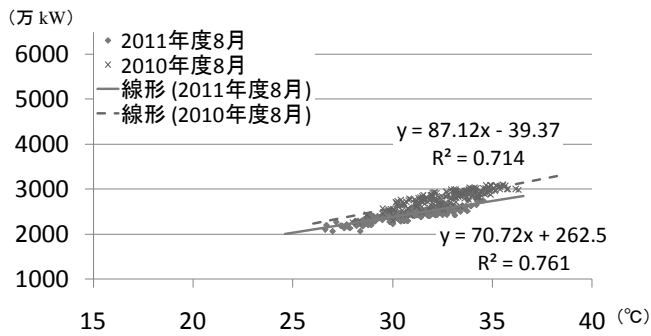


図 1 2 8 月における昼間の外気温と電力使用量の関係 (左: 関西電力、右: 東京電力)

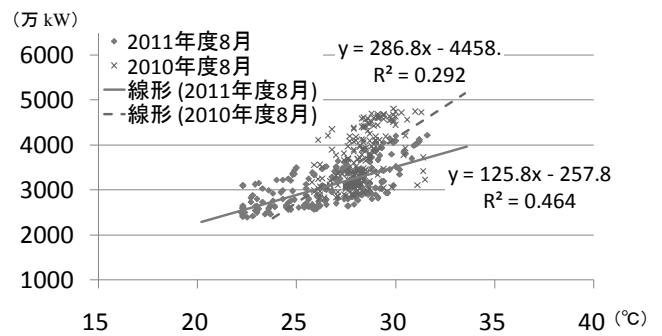
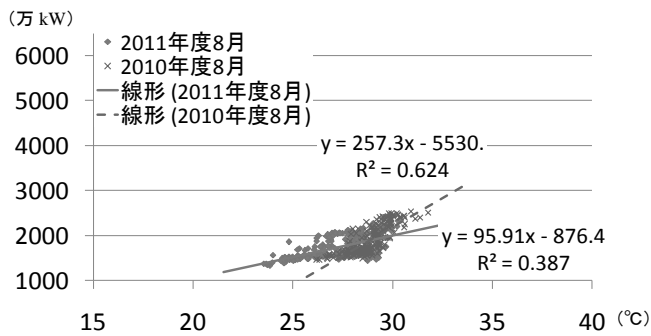


図 1 3 8 月における夜間の外気温と電力使用量の関係 (左: 関西電力、右: 東京電力)

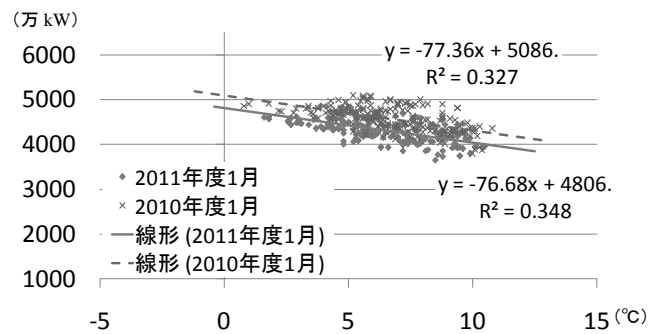
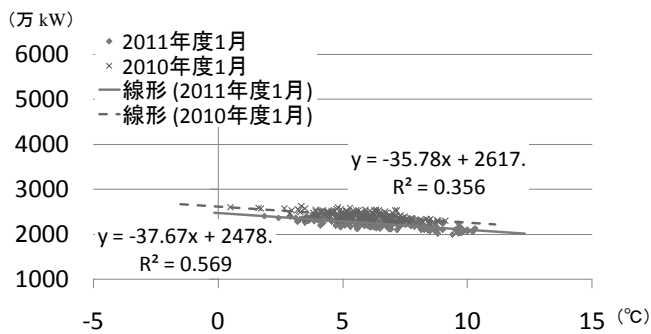


図 1 4 1 月における昼間の外気温と電力使用量の関係 (左: 関西電力、右: 東京電力)

5-4 補正外気温と電力使用量の相関の分析

5-4-1 分析概要

8 月における昼間と夜間の補正外気温と電力使用量の関係をそれぞれ図 12、図 13 に、1 月における昼間の補正外気温と電力使用量の関係を図 14 に示す^{注4)}。電力使用制限令及び節電要請の対象となった昼間の時間帯 (9 時～20 時) と対象外の夜間の時間帯 (21 時～翌日 8 時) のそれぞれにおいて 2010 年度と比較し検証を行った。

5-4-2 夏期結果

外気温と電力使用量との間には正の相関がある。全てのケースで近似線の傾きの緩和が確認でき、温度上昇に伴う電力使用量の増加が抑制されていることがわかる。これは電力不足に対する節電努力による効果が大きいと推測される。さらに関西電力・東京電力ともに夜間での勾配の緩和も大きく、昼間の産業・業務での節電努力の効果と共に家庭での節電効果もあると推測される。

注 1) 関西電力はデータの提供して頂き、東京電力はホームページの過去の電力使用実績データより引用した。

注 2)

$$VARP = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}$$

VARP: 分散値、x: 標本
n: 標本数、 \bar{x} : 標本平均

注 3) x、x-1、x-3...はそれぞれ当日、前日、前々日...を表す。

5-4-3 冬期結果

外気温と電力使用量との間には負の相関がある。夏期と比較すると近似線の傾きにはあまり緩和が見られない。この原因として冬期は灯油やガスによる局所的な暖めもあり空調の節電が効果に現れにくいと考えられる。

6. まとめ

本研究では電力使用量の実績データを分析し東日本大震災後の節電効果の検証を行った。夏期においては最大電力の緩和・ピークシフト・外気温に対する気温の伸びの緩和の全てが確認でき、電力使用制限令及び節電要請による節電対策の有効性が示せた。冬期においては大きな節電効果が確認できなかった。電力需要のピークが朝・夕の 2 回あり、なだらかな電力使用が行われる冬期特有の節電対策の難しさが伺えた。また震災から約 10 ヶ月が経過し、節電への意識が薄れている可能性が考えられる。

注 4) サンプルのうち平日とは異なった電力使用が行われる土・日・祝日・盆 (8/12～8/16)・正月 (1/1～1/4)、及び降水、降雪があった時間帯を除いた。

参考文献

- 文 1) 経済産業省: 今夏の電力需給対策のフォローアップについて
- 文 2) 経済産業省: 過去の電力需要実績